



EESTI MAAÜLIKOOL
TEHNIKAINSTITUUT

Edi Valgemäe

**EESTI ELEKTRISÜSTEEMI
ÜMBERSÜNKRONISEERIMISE VÕIMALIKUD
RISKID**

POSSIBLE RISKS OF ESTONIAN ELECTRICITY
NETWORK RESYNCHRONISING

Magistritöö
Energiakasutuse õppetool

Juhendajad: professor Andres Annuk, *PhD*
professor Arvi Hamburg, *PhD*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Edi Valgemäe		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Eesti elektrisüsteemi ümbersünkroniseerimise võimalikud riskid			
Lehekülgi: 50	Jooniseid: 9	Tabeleid: 6	Lisasid: -
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17			
Energeetikaalased uuringud; CERCS: T140 Energeetika			
Juhendajad: Andres Annuk, <i>PhD</i> , Arvi Hamburg, <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2019			
<p>Antud magistritöö eesmärgiks oli analüüsida Eesti elektrisüsteemile avalduvaid riske olles ühendatuks Venemaa ühendatud sünkroonlaga ning riske, mis võivad avalduda Eesti elektrisüsteemi sünkroniseerimisel Mandri – Euroopa elektrivõrgustikuga. Analüüsida, millised on Eesti varustuskindluse tagamise tehnilised võimalused peale ümbersünkroniseerimist ning millised saavad olema bilansienergia tootmisvõimalused Läänemere regioonis. Uurimustöö tugineb eelnevalt avaldatud uurimustel, raportitel, artiklitel ja erinevate institutsioonide väljastatud dokumentidel, mis puudutavad Baltimaade ümbersünkroniseerimist. Täna ja tulevikus on Eesti peamiseks eesmärkideks energiajulgeoleku tagamine, arendades koostööd regionaalsel energiaturul, sõltumatus Venemaa energia ekspordist ja võimalikest Venemaa poolsetest mõjutustest. Integreeruda Mandri – Euroopa elektrivõrgustikuga, tugevdades riikidevahelisi ühendusliine ja tagades seeläbi Eesti varustuskindluse ja bilansienergia tasakaalu. Eesti peamiseks edasisteks väljakutseteks on investeringute tagamine riidevahelistesse ühendusliinidesse, kohalikesse tootmisvõimsustesse ja tootmis – tarbimise tasakaal. Jätkusuutlik Euroopa Liidu energia – ja kliimapoliitika jälgimine, kahjustamata seejuures Eesti energiajulgeolekut ja varustuskindlust.</p>			
<p>Märksõnad: Eesti elektrisüsteem, desünkroniseerimine Venemaast, sünkroniseerimine Mandri – Euroopa elektrivõrgustikuga, varustuskindlus, elektriturg</p>			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Edi Valgemäe		Curriculum: Energy Engineering	
Title: Possible Risk of Estonian Electricity Network resynchronising			
Pages: 50	Figures: 9	Tables: 6	Appendixes: -
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering			
Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17 Energetic Research; CERCS: T140 Energy research			
Supervisors: Andres Annuk, <i>PhD</i> , Arvi Hamburg, <i>PhD</i>			
Place and date: Tartu, 2019			
<p>The aim of this thesis was to analyse the risks to the Estonian electricity systems when being connected to the Russian united synchronous area and the risks that may arise, when Estonian electricity systems will be synchronized to the Continental – European electricity network. Analyze the technical possibilities of securing Estonia's security of supply after synchronization and what will be the possibilities of balancing energy production in the Baltic Sea region. The research is based on previously published studies, reports, articles and documents issued by various institutions concerning the Baltic synchronization. Today and in the future, Estonia's main goals is to ensure energy security by developing cooperation in the regional energy market, independence from Russian energy exports and possible Russian influences. Integrate with the Continental - Europe electricity grid, strengthening transnational interconnections and thereby ensuring balance of supply and balance energy in Estonia. Estonia's main future challenges is to secure investments in interlining with neighbor countries, local production capacity and balance of production. Sustainable monitoring of the European Union's energy and climate policy, without undermining Estonia's energy security and security of supply.</p>			
Keywords: Estonian electricity system, desynchronization from Russia, synchronization with Continental European electricity grid, security of energy supply, electricity market			

SISUKORD

LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	6
1. MIS ON ENERGIAJULGEOLEK, VARUSTUSKINDLUS JA TÖÖKINDLUS.....	9
1.1. Energiajulgeolek.....	9
1.2. Varustuskindlus.....	10
1.3. Töökindlus.....	10
2. EESTI ELEKTRISÜSTEEMI ARENG	12
3. EESTI ELEKTRISÜSTEEMI OHUD TÄNA JA DESÜNKRONISEERIMISEL.....	17
4. EUROOPA SÜNKROONALAS TOIMIMISE RISKID JA MAKSUMUS	28
5. VARUSTUSKINDLUSE TAGAMISE TEHNILISED VÕIMALUSED JA MAKSUMUS	33
6. BILANSIENERGIA TOOTMISE VÕIMALUSED LÄÄNEMERE REGIOONIS....	37
KOKKUVÕTE	44
KASUTATUD KIRJANDUS	47
LIHTLITSENTS.....	50

LÜHENDID

Balti RSC	– Balti regionaalne talitluskindluse koordinaator
BEMIT	– (Baltic Energy Market Interconnection Plan) – Läänemere regiooni energiaturgude ühendamise kava, mille eesmärgiks on regiooni ühtse energiaturu väljaarendamine
BRELL	– (Belarus, Russia, Estonia, Latvia, Lithuania) – Eesti, Läti, Leedu, Venemaa ja Valgevene elektrisüsteemide juhtimisalane koostöö
CEN	– (Continental Europe Network) – Euroopa mandriosa elektrivõrgustik
DC Baltija	– Baltimaade elektrisüsteemide koordineerimiskeskus
ECF	– Euroopa ühendamise rahastamise fond
EL	– Euroopa Liit
ENTSO-E	– (European Network of Transmission System Operators) – Euroopa süsteemihaldurite ühendus
FSAS	– Euroopa Liidu ühtne sageduse stabiilsuse hindamise süsteem
IPS/UPS	– Venemaa ja selle lähisriikide ühtne sünkroonala
NP	– Nord Pool, Põhjamaade ja Balti riikide elektribörsi operaator
TSO	– Balti riikide põhivõrguettevõtjad
PSE	– Poola elektrisüsteemihaldur

SISSEJUHATUS

Iga riigi prioriteediks on tagada vajalike energiaressursside olemasolu oma elanikkonna ja majanduse toimimiseks normaal – ja kriisiolukordades. Ühiskonna toimimise aspektist on oluline tagada stabiilne ja püsiv elektrienergia varustuskindlus.

Eesti peamiseks probleemiks energiavaldkonnas tulevikus on varustuskindluse ja sõltumatuse tagamine energia impordist, mis nõrgestab riigi energiajulgeolekut. Euroopa Liidu (EL) liikmesriikide ühiseks huviks on vältida olukorda, kus energiat eksportivad riigid, eeskätt Venemaa, saaksid avaldada survet rahvusvahelistes suhetes, kasutades selleks energiasektorit.

Nõukogude Liidu ühe viimase pärandina on aga täna veel Eesti ja teiste Balti riikide elektrisüsteemid ühendatud ühtsesse elektrisüsteemi BRELL (Valgevene, Venemaa, Eesti, Läti, Leedu). Töötades sünkroonselt Venemaa ühendatud elektrisüsteemiga (IPS/UPS), mis tagab Eesti elektrisüsteemi toimimiseks vajamineva sageduse.

Tänu aga tänaseks väljaehitatud elektriühendustele EL naaberriikidega, suudetakse vajaduse korral hoida Baltimaade elektrisüsteeme töös ka ilma Venemaa ühendusteta, kuid mitte püsivalt [1]. Püsiva lahti ühendamise korral oleks täna ohustatud nii sageduse stabiilsus, energiajulgeolek kui ka varustuskindlus. Elektrituru osas korvaks olulise puudujäägi Eestile olemasolevad Soome – Eesti vahelised alalisvoolukaablid EstLink1 ja EstLink2. Kogu regiooni elektrituru seisukohalt tekiks aga märgatav puudujääk bilansienergia tagamisel. Seega ei oleks, ei Eesti, Läti ega Leedu varustuskindlus ega energiajulgeolek kaugeltki tagatud. Eesti varustuskindluse tagamiseks peab tugevdama eelkõige naaberriikide vahelisi ühendusliine, suurendama ülekandevõimsusi ja integreerima elektrivõrkudesse uusi tootmisvõimsusi.

Eesti elektrivõrkude töökindluse tagamiseks vajalikke investeeringuid elektrisüsteemi tehakse pidevalt ja oleks vaja teha ka ilma IPS/UPS ühendusest eraldumise plaanita. Olemasolevad Eesti – Läti suunalised vahelduvvoolu ühendusliinid ning ka Põhjamaade (Taani, Rootsi) ja Saksamaa vahelised alalisvoolu ühendusliinid, hakkavad aga oma eluiga minetama ja vajavad rekonstrueerimist ning uute ühendusliinide väljaehitamist

ülekandevõimsuste suurendamiseks. Kuna tegemist on EL ühise otsusega ja poliitilise tahtega, integreerida Baltimaad Mandri – Euroopa elektrivõrgustikuga (CEN), on vajaminevad investeeringud kaetud ka EL kaasrahastusega.

Tekkinud on seega olukord, kus Balti riigid on ühendatud ühelt poolt IPS/UPS sagedusalaga ja teiselt poolt EL liikmesriikidega, kas vahelduvvoolu või alalisvoolu ühenduste kaudu. Vahelduvvooluühendustega tagatakse sünkroontöö ja töökindlus ning alalisvooluühendused teiste EL liikmesriikidega on andnud võimaluse ühineda Baltimaadel Põhjamaade elektribörsiga Nord Pool (NP) ja võimaldavad elektrienergia ostu ja müüki naaberriikidega. See on muutnud oluliselt Eesti elektrituru käsitlust, lähtudes tootmise piisavuse ja varustuskindluse hoidmisel regionaalsest turuolukorrast.

Alates EL-ga ühinemisest 1. mail 2004. aastal on Eesti jälginud EL energiapoliitikat, andes ühtlasi koos teiste Balti riikidega lubaduse, ehitada välja vajalikud ühendusliinid Baltimaade ja EL naaberriikide vahel [2]. Lõppeesmärk on Balti riikide elektrisüsteemide sünkroniseerimine EL õigusele alluvasse sünkroonalasse.

Lähtudes EL energiajulgeoleku aspektist, kus suurimaks ohuks on energiaeksport kolmandatest riikidest, eeskätt Venemaalt, oleks Balti riikide eraldumine IPS/UPS ühendusest õigustatud seisukoht, majanduslikust ja tehnilisest seisukohast aga põhjendamatu. Eraldumine avaldaks olulist negatiivset mõju varustuskindluse tagamisele. Energiakaubanduse seisukohalt oleks eraldumisel aga oluline positiivne mõju.

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata riske ja analüüsida Eesti elektrisüsteemi tänast olukorda, olles ühendatud IPS/UPS sünkroonalaga. Eesti varustuskindluse tagamise tehnilisi võimalusi ja maksumust, millised investeeringud on selleks tehtud, teostamisel ja planeeritud tulevikus ning mis ohud võiks segada nende elluviimist. Millised on CEN sünkroonalaga ühinemise võimalikud riskid ja sageduse tagamise ning reservide hoidmise maksumus ning hinnata Läänemere regiooni bilansienergia tootmise võimalusi.

Lõputöö idee tekkis autoril, kuna on olnud ametialaselt kaasatud Eesti põhivõrguhaldaja poolt tehtavatesse investeeringute elluviimisse elektrivõrkude rekonstrueerimisel ja uute ühendusliinide välja ehitamisel, mis on vajalikud Eesti elektrisüsteemi desünkroniseerimise läbiviimiseks IPS/UPS ühendusest ja CEN sünkroonsagedusega ühendussüsteemiga liitumiseks. Teema on samas aktuaalne ka nii inseneride seas kui ka poliitikamaastikul.

Uurimustöö tugineb eelnevalt avaldatud raportite, artiklite, käsiraamatute ja erinevate institutsioonide poolt väljastatud dokumentidel, mis puudutava Baltimaade desünkroniseerimist ühendusest IPS/UPS ja Baltimaade sünkroniseerimist EL õigusega alluvasse sünkroonalasse. Erinevaid uurimusi on võrreldud ja analüüsitud, eesmärgiga selgitada välja riskid, mis tulenevad Eesti elektrisüsteemi ümbersünkroniseerimisest.

Esimeses peatükis antakse lühike ülevaade energiajulgeoleku, varustuskindluse ja töökindluse mõistetest.

Teises peatükis antakse põgus ülevaade Eesti elektrisüsteemi arengust läbi aegade ja kuidas Eesti elektrisüsteem on kujunenud osaks Venemaa elektrisüsteemist. Vaadeldakse Eesti elektrivõrkude hetkeolukorda ja desünkroniseerimiseks ühendusest IPS/UPS vajaminevaid investeeringuid. Millised vajaminevad investeeringud on juba tehtud ning millised ootavad oma järjekorda, et Eesti ja teised Balti riigid saaksid ühineda CEN sagedusalaga 2025. aasta lõpuks.

Kolmandas peatükis analüüsitakse Eesti elektrisüsteemi tänaseid ja desünkroniseerimisest tingitud ohtusid.

Neljandas peatükis analüüsitakse CEN sünkroonalaga ühinemise ja seal toimimise riske ja maksumust. Kas ühinemine CEN-ga annaks Eesti varustuskindluse tagamisele paremaid võimalusi, kui võimaldab seda tänane sünkroonala?

Viiendas peatükis vaadeldakse Eesti elektrisüsteemide varustuskindluse tagamise tehnilisi võimalusi nii siseriiklikult kui ka regiooniti ning tehtavate investeeringute maksumust.

Kuuendas peatükis antakse ülevaade Baltimaade tänase elektrivõrgu bilansienergia tootmisvõimsuste olukorrast ja analüüsitakse millised bilansienergia tootmise võimalused avanevad Läänemere regioonis.

Siinkohal tahan tänada ka Hr. Arvi Hamburgi ja Hr. Andres Annukit magistr töö juhendamisel.

1. MIS ON ENERGIAJULGEOLEK, VARUSTUSKINDLUS JA TÖÖKINDLUS

1.1. Energiajulgeolek

Energiajulgeolek on tihedalt seotud nii tehniliste, majanduslike, poliitiliste ja geopoliitiliste aspektidega, olles riigiti väga erinev ja sõltudes väga erinevatest tingimustest nagu: tootmisvõimsuste allikad ja mitmekesisus, impordi ja ekspordi stabiilsus ja sõltuvus, energiapoliitika, varustuskindlus, geograafiline asukoht ja ajalooline taust.

Nii Eesti kui ka EL energiajulgeolekut silmas pidades peab lähtuma kõigist eelpool nimetatud aspektidest. EL õigusaktidest tulenevalt on energiajulgeolek tihedalt seotud ja mõjutatud majandusarengust, geopoliitiliselt ja keskkonnaalaselt, olles rahvusvahelistes suhetes üheks peamiseks mõjuteguriks. Mõjutades kõige enim riike, kes on sõltuvad kolmandate riikide energiatarnetest ja olles seeläbi haavatavad nii majanduslikult kui poliitiliselt.

Energiajulgeoleku tase näitab riigi energiasüsteemi võimekust toimida nii tava kui ka kriisiolukordades, minimaliseerides erinevaid energiajulgeolekut mõjutavaid riske ja võimalikke kahjusid, mis tulenevad sise – ja välispoliitilistest, majanduslikest ja tehnilistest aspektidest.

Eesti on 2018. aasta seisuga üks väheseid riike, kes toodab elektrienergiat rohkem, kui seda ise tarbida suudab [1]. Seda tänu põlevkivil baseeruvatele tootmisvõimsustele, mis tagab Eesti energiajulgeoleku hea taseme. Vähene elektrienergia impordi sõltuvus toetab Eestis kodumaiste energiaallikate kasutamist energiasektoris, seda nii põlevkivi, põlevkiviõli, turba, puidu ja ka taastuvenergiaallikate nagu tuule ja jäätmete kasutamist.

1.2. Varustuskindlus

Elektrienergia varustuskindluse all mõistame elektrisüsteemi võimet tagada elektritarbijatele nõuetekohane elektrivarustus, nõutud ajal ja tarbijale sobiliku hinnaga. Varustuskindluse tase iseloomustab energia nõudluse ja pakkumise tasakaalu, selle kvaliteeti ja kättesaadavust.

Varustuskindluse tagavad elektrisüsteemide töökindlus, tootmisvõimsuste piisavus, pakkujate mitmekesisus, olles iga ühiskonna alustala, kindlustades ühiskonna toimimise ja konkurentsivõime, tagades nii inimeskonna heaolu ja majandusarengu. Eesti geograafilist asukohta ja kliimavöödet arvestades, kus oluline energiahulk kulub sooja saamiseks, on oluline, et varustuskindluse tagamiseks tehtavad investeeringud ei muudaks elektrienergia hinda lõpptarbijale liiga kõrgeks, hakates seeläbi majandusarengut pärssima.

Eesti varustuskindlus on tänapäeval väga hästi energiaressurssidega kaetud, seda tänu põlevkivi ressursside olemasolule. Pikemas perspektiivis on vaja aga leida alternatiive, mis korvaks põlevkivist saadavaid tootmisvõimsusi ja arvestaks üha enam regionaalsete vajadustega, üha laienevas avatud turuolukorras. Üha enam lähtutakse varustuskindluse tagamisel regionaalsetest riikidevahelistest ülekandevõimsustest, avatud elektriturust, tootmisvõimsuste mitmekesisusest ja nende paiknemisest.

1.3. Töökindlus

Elektrisüsteemi kui terviku töökindluse tagavad süsteemi kõigi osade harmoniseeritud koostöö ja toimimine ettenähtud viisil. Olgu selleks siis elektriliinid, alajaamad, nende toimimiseks vajalikud seadmed, kõigi nende elementide koostoimimine aitab tagada terviku töökindluse.

Töökindluse tase iseloomustab elektrisüsteemi piisavust, tehnilist võimet tõrgeteta tööks. Töökindlust hinnatakse elektrivõrgus toimuvate katkestusaegade pikkuse alusel. Mida vähem on tõrkeid ja katkestusi elektrivõrgu töös, seda töökindlam see on. Töökindlusega tagatakse tarbijale häiringuteta elektrienergia kättesaadavus.

Töökindluse tagamiseks on vajalikud pidevad investeeringud, tagades elektrivõrkude rikkekindluse, vähesed energiakaod ja taastumisvõime häiringute korral, mis mõjutavad oluliselt varustuskindlust.

2. EESTI ELEKTRISÜSTEEMI ARENG

Eesti elektrisüsteemi ajalugu ulatub juba ülemöödunud sajandisse, mil hakati tasapisi arendama Eesti elektrivõrke, olles eelmise sajandi keskpaigaks välja arendanud üleriigilise elektrivõrgustiku. Läbi ajaloo on Eesti elektrisüsteemi kujunemisele andnud oma panuse erinevad riigikorrad, ühendused ja liidud, kuhu Eesti kuulunud on.

1961. aastast alates on Eesti energiasüsteem liidetud NSV Liidu loodepiirkonna ühendatud energiasüsteemi. Venemaa energiasüsteemiga oli juba siis Eesti energiasüsteem ühendatud viie 330 kV pinge liiniga, nelja 330 kV ja kahe 110 kV pinge liiniga Narvast ja ühe 330 kV pinge liiniga Tartust. Läti energiasüsteemiga oldi ühendatud kahe 330 kV pinge liiniga [3].

1990. aastaks moodustasid NL Ühtne Energiasüsteem ja sellega paralleelselt töötav Euroopa sotsialistlike maade ühendatud energiasüsteem „Mir“, ühe maailma võimsaima energiasüsteemi [4]. Samal aja võeti vastu aga ka Euroopa Liidu esimene energiaõigusaktide pakt, mille eesmärgiks oli EL liikmesriikide ühtse energiasüsteemi väljaehitamine, mis tagaks ühtse energiapoliitika ja – julgeoleku ning ühise tururegulatsiooni kõikidele liikmesriikidele, kes juba kuulusid EL ja kes olid liitumas. Vahemikus 1995 – 2004. aasta liitusidki Mandri – Euroopa ühise energiavõrguga Kesk – Ida – Euroopa riigid nagu Bulgaaria, Tšehhi, Ungari, Rumeenia ja Slovakkia. [5] Jättes EL ühendatud elektrisüsteemidest ainsana veel eraldatuks Baltimaad.

1992. aastal peale Balti riikide taasiseseisvumist asutati Riias Baltimaade elektrisüsteemide koordineerimiskeskus (DC Baltija). DC Baltija peamiseks rolliks ja ülesanneteks oli [6]:

- iseseisva süsteemihaldurina Baltimaade ja IPS/UPS integreeritud elektrisüsteemide koordineerimine;
- Balti riikide ühendatud elektrisüsteemide kontroll ja optimeerimine;
- Baltimaade ja IPS/UPS vaheline elektrienergia kaubandussuhete parandamine;
- Baltimaade energiakasutuse tõhustamine ja planeerimine.

Ettevalmistavaid tegevusi Eesti elektrisüsteemi eraldumiseks Venemaa elektrisüsteemist on tehtud juba alates 1993. aastast, kui alustati eralduskatsetuste läbiviimisega, eesmärgiga testida Eesti elektrisüsteemi võimekust iseseisvaks tööks. Esmasel eralduskatsel ühendati

esimest korda Eesti elektrisüsteem lahti nii Venemaa kui ka Läti elektrisüsteemidest. Edasised eralduskatsed on läbi viidud veel 1995, 1997, 2001. aastatel ja viimane eralduskatse Venemaa ja Läti elektrisüsteemidest toimus 2009. aasta aprillis, mis kestis kokku umbes poolteist tundi. Venemaa ja Läti elektrisüsteemide eralduskatsetega on valdavalt testitud Eesti elektrisüsteemides töötavate elektrijaamade võimekust ja töökindlust, seda nii tavatalitluse kui ka elektrisüsteemis aset leidvate häiringute olukorras. Senini võib kõiki teostatud eralduskatseid lugeda õnnestunuks ning Eesti elektrisüsteemi võimekus eralduskatse ajal on sageduse reguleerimisel olnud ootuspärane, seda ka 2009. aastal läbiviidud eralduskatsetuse ajal, kus lisaks Eesti elektrijaamadele oli võimalus katsetada ka EstLink1 sageduse reguleerimise funktsionaalsust. [1]

2002. aastal viidi DC Baltija juhtimisel läbi eralduskatse, mille käigus eraldati Balti riigid, Kaliningrad ja osa Valgevene elektrisüsteemidest täielikult Venemaa energiasüsteemist [1, 6]. Eralduskatse eesmärgiks oli välja selgitada Balti riikide tehniline valmisolek ühendusest IPS/UPS eraldumiseks, kuivõrd ollakse valmis sõltumatuks toimimiseks eriolukordades [1].

Samuti registreeriti ja koguti andmeid sageduslike reguleerimiskarakteristikate kohta, kontrolliti turbiinide ja generaatorite käitumist võimaliku energiadefitsiidi või võimsuse ülejäägi tingimustes. Eralduskatset võis lugeda edukaks, kuna see ei toonud endaga kaasa energiatarbijate elektrivarustuse häiringuid. [1]

2006. aastal saadeti aga DC Baltija laiali, kuna Balti riikide ambitsioonid elektrisüsteemide arendamiseks erinesid riigiti ning peale taasiseseisvumist valitsenud patriotism hakkas hääbuma [6]. Samuti olid vahepeal Balti riigid ühinenud EL-i ning sellega seoses võtnud endale kohustuse jälgida EL energiapoliitikat, mille tulemusena kujunes välja igas Balti riigis eraldi energiapoliitika.

2003. aastal kehtestati Eestis võrgueeskirjad, millega kehtestati elektrijaamade juhtimise ja võimekusega seotud nõuded, mis on määrava tähtsusega elektrisüsteemi stabiilseks talitlemiseks nii Baltimaade autonoomse sünkroonalana toimimisel kui ka koostöös CEN sünkroonalaga toimimiseks. Sellest tulenevalt katsetab ja hindab Eesti põhivõrguhaldaja kõigi uute tootmisseadmete vastavust nõuetele, mis ühendatakse otse põhivõrku või mille nimivõimsus on suurem kui 5 MW. [7]

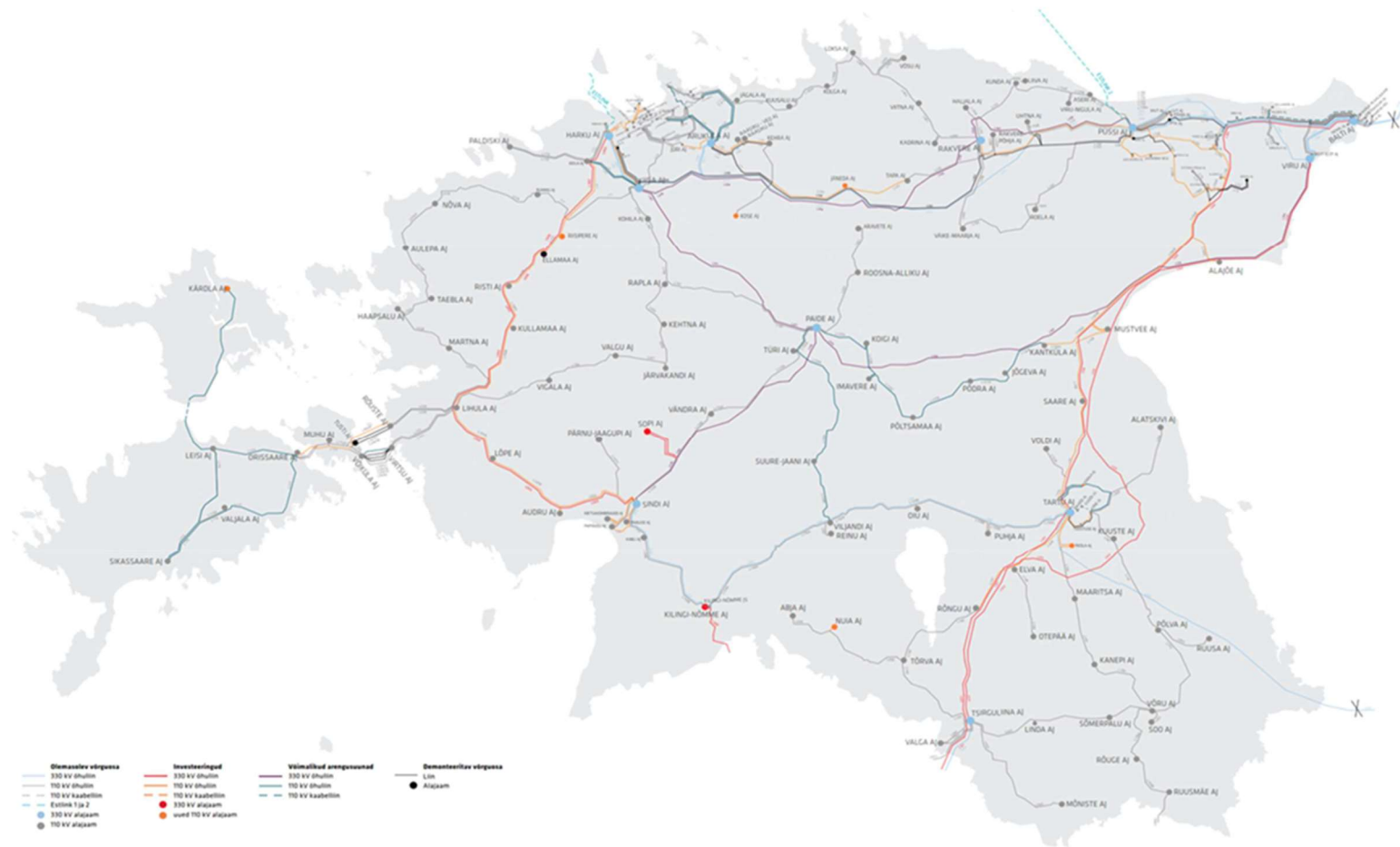
Katsetuste läbiviimise eesmärgiks on tagada uute elektrijaamade nõuetekohasus ning seeläbi kindlustada elektrisüsteemi töökindlus võimalike erinevate stsenaariumite korral. Baltimaade võimekus autonoomse sünkroonalana talitliseda on üheks peamiseks ümbersünkroniseerimise eelduseks.

Eesti energiasüsteemiga ühendatud elektrijaamad peavad tagama elektrisüsteemi normaalseks talitlemiseks vajalikud süsteemiteenused ning võimekuse tagada avari olukorras elektrisüsteemi töökindluse [7]. Selle saavutamine nõuab aga pidevat tööd ja investeeringuid elektrivõrkude töökindluse tagamiseks. Eesti põhivõrgus tehtavate investeeringute peamiseks eesmärkideks on [1]:

- varustuskindluse tagamine;
- elektrituru arengut tagavad investeeringud elektrivõrgu välisühendustesse;
- uute liitumiste ja koormuste kasvu tagamine läbilaskevõime suurendamisega;
- elektrivõrkude amortiseerumise vältimine ja töökindluse tagamine;
- kadude vähendamine ning tarbimis – ja tootmisvõimsuste suurendamine.

Eesti mandriosa hõlmava 330 kV ringühenduse investeeringute ühe osana valmis 2014. aasta sügiseks Tartu – Viljandi – Sindi 330/110 kV ühisriputusega elektriliin. Ringühenduse viimaseks lüliks, mis ühtlasi mängib ka olulist rolli ühinemisel CEN-ga, on välja ehitada Harku – Lihula – Sindi 330/110 kV ühisriputusega elektriliin, mis omakorda annab eeldused ehitada välja kolmas Eesti – Läti 330 kV ühendusliin. Harku – Lihula – Sindi 330/110 kV õhuliini ehitustöödega on juba alustatud ning olemas on ka valmisolek Eesti ja Läti territooriumitel paikneva Riia TEC2 – Kilingi – Nõmme 330 kV õhuliini ehitustöödega alustamiseks. Ehitatava kolmanda Eesti – Läti 330 kV ühendusliini läbi tagatakse tulevikus nii Eesti kui ka Läti elektrisüsteemide varustuskindlus ja paraneb elektri läbilaskevõime naaberriikide vahel transiitliinides. Peale kolmanda Eesti – Läti 330 kV ühendusliini valmimist alustatakse koheselt ka juba olemasolevate Balti – Tartu – Valmiera 330 kV ja Viru – Tsirguliina – Valmiera 330 kV õhuliinide rekonstrueerimistöödega. Eesmärgiga tugevdada veelgi naaberriikide vahelist varustuskindlust ja üldist energiajulgeolekut Baltimaades. [1]

Täna on rekonstrueeritud ka kõik Eesti elektrisüsteemi sõltumatust kindlustavad 330 kV pingega sõlmajaamad. Ühe viimasena on 2016. aasta lõpus valminud ja pingestatud Eesti Elektri jaama 330 kV alajaam, mis võimaldab hoida Eesti elektrisüsteemi töös ka ilma Narva elektrijaamadeta [7]. Joonisel 2.1. on näha Eesti elektrisüsteemi hetkeolukord.



Joonis 2.1. Eesti elektrisüsteemid, koos planeeritavate investeeringutega sünkroniseerimiseks CEN sagedusalaga [1].

Joonisel on näha olemasolevad Eestit katvad ühendus – ja ülekandeliinid ja desünkroniserimise korral katkestatavad vahelduvvooluliinid Venemaaga ja ka Eesti – Läti olemasolevad ühendusliinid ja planeeritav kolmas Eesti – Läti 330 kV ühendusliin Riia TEC2 – Kilingi – Nõmme.

Ehitades välja Eestit katva 330 kV ringühenduse, kolmanda Eesti – Läti 330 kV ühendusliini ja rekonstrueerides olemasolevad Eesti – Läti 330 kV ühendusliinid, võimaldaks see Eestil paremini integreeruda CEN-ga ja tihendada koostööd regionaalselt energiabilansi tagamisel.

3. EESTI ELEKTRISÜSTEEMI OHUD TÄNA JA DESÜNKRONISEERIMISEL

Eesti elektrisüsteemi talitlemisel Venemaa sünkroonallas on tagatud Eesti varustuskindlus, stabiilne sagedus elektrisüsteemis ja reservvõimsused, kuid mitte energiapuudus. Peamiseks põhjuseks, miks EL nii tugevalt Baltimaade desünkroniseerimist toetab on EL liikmesriikidele avalduvad energiapuuduse ohud, mida Baltimaade kuulumisel Venemaa sünkroonallas pole võimalik maandada. Üheks olulisemaks probleemiks lisaks desünkroniseerimis – ja sünkroniseerimisprotsesside tehnilistele probleemidele, on ka projekti kõrge maksumus. Balti riikide ümbersünkroniseerimine ei ole projekt, mis tekitaks otsest majanduslikku kasu. See on peamiselt poliitiline projekt, mis aitab EL riikidel integreeruda ühtseks energiaturuks ja kindlustada Balti riikide elektrisüsteemid Venemaa soovimatu tegevuse vastu.

Täna strateegia järgi on Eesti elektrisüsteemi desünkroniseerimise protsessi planeeritud 3 etappi [1]:

- esimese etapina saavutada valmisolek Baltimaade eraldi sünkroonallas talitlemine avariiolekordades;
- teise etapina saavutada valmisolek Baltimaade eraldi sünkroonallas talitlemine püsivalt, eraldatuna Venemaa elektrisüsteemist. Investeeringute kohaselt saavutatakse püsiv valmisolek 2025. aasta lõpuks;
- viimases etapis on eesmärgiks lõplikult eraldada IPS/UPS sagedusalast ja ühineda CEN sagedusalaga.

Kõigi eelpool nimetatud etappide elluviimine eeldab omakorda hulgaliselt tingimusi ja riske, mis peavad olema maandatud.

Alljärgnevalt analüüsitakse desünkroniseerimise elluviimisega kaasnevaid riske. Mis on peamised ohukohad ühendusest IPS/UPS eraldumisel, ilma et Eesti varustuskindlus seeläbi kannataks ja analüüsida, millised riskid ohustavad Eestit täna.

Desünkroniseerimise protsessi esimese etapi eelduseks on edukate eralduskatsete läbiviimine, nii Eesti elektrisüsteemide eraldi sünkroonallas toimimiseks kui ka Balti riikide

eraldi sünkroonala toimimiseks avariiolekukorral. Kui eralduskatset enne desünkroniseerimist IPS/UPS alast läbi viia ei õnnestu, puuduvad kõik garantiid, et reaalolekukorras täielikul eraldumisel oleks Eesti ja Baltimaade varustuskindlus tagatud.

Teise etapi eesmärgi saavutamiseks on Balti riikide süsteemihaldurite omavahelises koostöös töötatud välja kava Balti riikide elektrisüsteemide eraldumiseks IPS/UPS sagedusalast püsivalt. Seda katsetati ka 2002. aastal, kui DC Baltija juhtimisel viidi läbi eralduskatse, mille käigus eraldati Venemaa ja valgevene elektrisüsteemidest lahti kõigi kolme Balti riigi elektrisüsteemida, Kaliningradi ja osa Valgevene elektrisüsteemidest [1].

Järgmine Baltimaade eralduskatse IPS/UPS sagedusalast oli planeeritud 2019. aasta juunis. Võrreldes varasemate eralduskatsetega oli järgnev katsetus kavandatud oluliselt mastaapsem, seda nii ajaliselt kui ka tehniliselt. Eriti tehniliselt, kuna Balti põhivõrguettevõtjatel (TSO) puudub ühine juhtimissüsteem, varasemalt pole eralduskatset läbi viidud avanenud elektrituru olukorras ning elektrisüsteemide toimimise garanteerimiseks on vaja kaasata oluliselt täiendavaid tootmisvõimsusi. TSO kokkuleppe kohaselt peaks planeeritava saartalitluse pikkuseks olema 18 tundi. Eralduskatse peab ka näitama sünkroniseerimiseks vajalike piiriüleste ülekandevõimsuste suurusi, seda nii Baltimaade, Põhjamaade kui ka Poola vahel ja elektriyaamade generaatorite maksimaalselt võimalikku tootmistaset ning reservvõimsuste taset. [1]

Eralduskatse käigus oli planeeritud jätta Balti riikide elektrisüsteemid tööle nõ saartalitluses, jäädes küll ühendatuks olemasolevate alalisvooluühendustega Soome – Eesti suunal EstLink1 ja EstLink2 kaugu ja Leedu – Poola suunal LitPol Link1 kaudu. Plaanis oli ükskhaaval välja lülitada kõik üheksa ühendusliini, mis seovad Balti riike Venemaa ja Valgevenega ning katkestada ka Leedu – Kaliningradi vahelised elektriliinid, jättes Kaliningradi tööle eraldi saartalitlusena. Balti riikide eralduskatse fookuses oleks olnud elektrisüsteemi sageduse operatiivse juhtimise protsesside testimine ja stimuleerimaks erinevaid olukordi, just elektrisüsteemide erinevatel talitlustel. Eralduskatse ajal oli plaanis ka piirata Balti riikide ja Põhjamaade vaheliste alalisvooluühenduste võimsusi, et vähendada elektrisüsteemi suurima elemendi võimalikust rikkest tulenevat riski. Suurendamaks paindlikkust käivitada eralduskatse ajal Balti riikides tavapärasest enam tootmisvõimsusi. [1]

Oluline on enne desünkroniseerimist kontrollida Baltimaade võimekust püsivalt eralduda IPS/UPS sünkroonalast. Ilmselge on, et tänases olukorras ilma naaberriikide toeta, ei suudaks pikemas perspektiivis ükski Balti riikidest üksi oma töö – ja häiringukindlust tagada.

4. veebruaril 2019. aastal otsustas TSO, et juunisse 2019. aastal kavandatud eralduskatse jääb ära, kuna Venemaa planeerib mais 2019. aastal korraldada Kaliningradi saartalitluse katse, mille ebaõnnestumise korral, lükkab Venemaa edasi Baltimaade saartalitluse katse [8]. Kuna IPS/UPS sünkroonala sageduste eest vastutab suures osas Venemaa süsteemihaldur, siis on riskid Balti riikide eralduskatse läbiviimiseks ilma Venemaa nõusolekuta liiga suured, seda nii tehniliselt kui ka majanduslikult [1].

Kolmanda etapi eeldusi saab lõplikult täita, kui eelnevad kaks etappi on edukalt läbitud ja varustuskindluse garantiid ja sageduste hoidmise võimekus on tagatud.

Kui eralduskatseid ei õnnestu läbi viia või need ebaõnnestuvad on see suureks majanduslikuks, poliitiliseks ja julgeoleku riskiks kõigile Balti riikidele ja ka EL üldiselt, mis omakorda suurendab ohtu ebaõnnestuda Baltimaade ümbersünkroniseerimisel.

Tänaseks on teada, et ka Venemaa panustab väga palju Venemaa siseste ülekandeliinide ehitamise ja Kaliningradi saartalitluse kindlustamiseks. Venemaal on valmis ehitatud juba Luuga – Pihkva 330 kV õhuliin ja ehitamisel on Novosokolniki – Talashkino 330 kV õhuliin ning Kaliningradi ehitatakse uusi soojuselektrijaamu, mis kindlustavad Kaliningradi elektrisüsteemide autonoomse töö toimimiseks vajalikud tootmisvõimsused [9].

Venemaa uute ülekandeliinide valmimise ja Kaliningradi elektrisüsteemi autonoomsuse saavutamise tagajärjel, kaob Venemaal vajadus kasutada oma elektriülekaneks Baltimaade elektrivõrke. Teisalt annab jällegi ühenduste katkemine Venemaaga võimaluse Balti riikidel kasutada enda olemasolevaid ja planeeritavaid ühendusliine täielikult, vaid Balti riikide vaheliseks elektrienergia ülekandeks, saades kasutada kogu ülekandevõimsuste mahtu.

Venemaa elektrivõrgustik on toodud joonisel 3.1, kus on näidatud Venemaa valminud ja valmivad ülekandeliinid, mis omavad olulist tähtsust vähendamaks Venemaa vajadust Baltimaade elektrivõrkude kasutamiseks elektrienergia ülekandel.



Joonis 3.1. Venemaa elektrivõrk: *punane joon* – Venemaal valminud ja valmivad ülekandeliinid [9].

Täna ja tulevikus, kui Eesti on integreeritud Euroopa elektrituruga ning jälgides bilansienergia tagamisel NP elektribörsi hinnapoliitikat, on suureks ohuks Baltimaade ja Põhjamaade ühisturule Venemaalt sissetulev CO² tasust vaba elektrienergia, mis mõjutab oluliselt samal turul teiste pakkujate konkurentsivõimet [11].

Venemaa odav elektrienergia mõjutab ka olulisel määral Eesti põlevkivi elektrisoojusjaamade tööd. Kuna põlevkivist toodetud elektri hind ei suuda konkureerida Venemaalt eksporditava odava elektrienergiaga Lätti, Leetu ja Kaliningradi. Elektrienergia ekspordiks ja transiidiks kasutab Venemaa aga peamiselt Eesti elektrivõrke, kasutades selleks Narva – Tartu suunalisi ühendusliine. Vähendades seeläbi oluliselt Eesti tootmisvõimsuste osakaalu elektrienergia ekspordis teistesse Balti riikidesse. Ekspordi vähenedes pole mõistlik aga kallist elektrienergiat toota, mistõttu on Eesti põlevkivitööstus sunnitud oma elektrienergia toodangut vähendama. See omakorda avaldab suurt mõju Ida – Virumaa piirkonna majandusele ja tööhõivele.

Kas see on osa Venemaa pikemast plaanist mõjutada Baltimaade energiajulgeolekut, näitab aeg. Kuid kindlasti peab Eesti valmis olema Venemaa poolseteks ettearvamatusteks mõjutada Baltimaade elektrisüsteemide toimimist.

Ka antud töö kirjutamise hetkel näitas Elering Live riikidevaheline energiavoogude andmekaart [10] elektri tarbimise ja tootmise, ülepiiriliste energiavoogude ning energiakaubanduse kohta, et täna toimub aktiivne elektrienergia eksport Venemaa suunast Eestisse.

Joonisel 3.2. on näidatud riikidevahelised energiavood, seisuga 16.04.2019, kell 08.05. Energiavood Eesti ja Venemaa vahel säilivad kõigi eelduste kohaselt veel vähemalt käesoleva aasta lõpuni.



Joonis 3.2. Riikidevahelised energiavood, seisuga 16.04.2019, kell 08.05 [10].

Olukord, kus Venemaa saavutab sõltumatuse Balti riikidest enne 2025. aastat, kui on planeeritud Balti riikide desünkroniseerimine IPS/UPS sagedusalast, võib viia selleni, et Venemaa otsustab ise enne 2025. aastat Balti riigid oma elektrisüsteemist eraldada, katkestades olemasolevad Baltimaade ja Venemaa vahelised ühendusliinid. Selline olukord omaks Balti riikide elektrisüsteemide toimimisele tõsiseid tagajärgi. Mõjutades Balti riikide ja varustuskindlust ja tekitades ohtu *blackoudiks* ehk elektrivõrkude katkestuseke, mis võib Balti riikidele minna maksma 1,3 – 2,1 miljardit eurot, mis on pea kaks korda rohkem, kui

ümbersünkroniseerimiseks tehtavate investeeringute kogumaksumus [12]. Venemaa võib hakata sageduste reguleerimise eest küsima tasusid, millede suurus on prognoosimatu [9].

Kuigi ka täna toimub IPS/UPS sagedusala juhtimine Moskvast, on see olnud senini rahumeelne ja stabiilne, suurendades kõikide ühenduses olevate elektrisüsteemide töökindlust ning võimaldades ka elektri kaubandust, mis toimub turureeglite järgi ja endas poliitilist riski ei sisalda.

Venemaa poolt tekitatud ajaline surve on aga ühtlasi ka surveks Baltimaadele, kuna tänases olukorras ei oleks ükski Balti riikidest võimeline oma väiksuse tõttu tagama riigi sisest sageduse kvaliteeti. Sellest tulenevalt on desünkroniseerimine ja sellega kaasnevate investeeringute õigeaegne tagamine kõikides Balti riikides hädavajalik.

Püsiva eraldumise korral IPS/UPS sünkroonalast, kaob ka Venemaa tugi sageduse hoidmisel. Nii IPS/UPS, CEN kui ka Põhjamaad kasutavad aga elektrivõrgus pinge sagedust 50 Hz ehk siis, meie elektrivõrgu pinge peale ümbersünkroniseerimist jääks samaks. Süsteemide vahe seisneb vaid selles, millisel määral ja millisel hetkel tegelik sagedus kõigub.

Sagedus elektrivõrgus ei ole aga kunagi täiesti püsiv, alatihti toimuvad väikesed kõikumised. Sageduse muutused on tingitud elektrivõrgu koormuse muutumistest, elektrijaamade ja generaatorite tööst. Kõigi elektrisüsteemi osade ühendamise paralleeltöösse moodustabki sünkroonsageduse ala, mille kõik osad võivad mõjutada sageduse stabiilsust [13].

Arvestada tuleb ka, et suurte elektrisüsteemide puhul nagu IPS/UPS, Põhjamaad ja CEN, ei ole sama sagedusala kõigis punktides samal ajahetkel sama sagedus. See sõltub näiteks konkreetsete piirkondade elektrijaamade tööst. Kui kuskil piirkonnas sagedusala sees elektrijaama võimsust suurendatakse, siis sagedus selles piirkonnas tõuseb ja kui elektrijaama võimsust vähendatakse, siis sagedus langeb. Sellised kõikumised toimuvad üldjuhul sagedusala süsteemihaldurite poolt määratud piirides [13]. Sageduse stabiilsus sõltub ka koormuste muutustest ja elektrisüsteemi võimsuste päritolust. Sageduse võimalikult stabiilsena hoidmiseks peab elektrijaamade poolt toodetud elektrienergia olema võimalikult võrdne tarbija poolt elektrivõrgust võetud energiaga.

IPS/UPS saab vajalikud võimsused sageduse tagamiseks peamiselt soojuselektrijaamadest, kus kütusena kasutatakse gaasi [13]. Venemaa sagedusalas on nõue stabiliseerida sageduse

väärtused kõikumisel $50 \pm 0,2$ Hz 15 minuti jooksul vahemikku $50 \pm 0,05$ Hz [14]. Joonis 3.3 on toodud kogu BRELL ühenduse sageduse kõikumine, seisuga 30.04.2019 aasta 24 tunni jooksul.



Joonis 3.3. BRELL sünkroonala sageduse kõikumine, seisuga 30.04.2019, ajavahemikus 24 tundi [14].

Jooniselt näeme, et BRELL sagedusalas on sageduse kõikumised väga väikesed, mis näitab süsteemi head stabiilsust ja töökindlust.

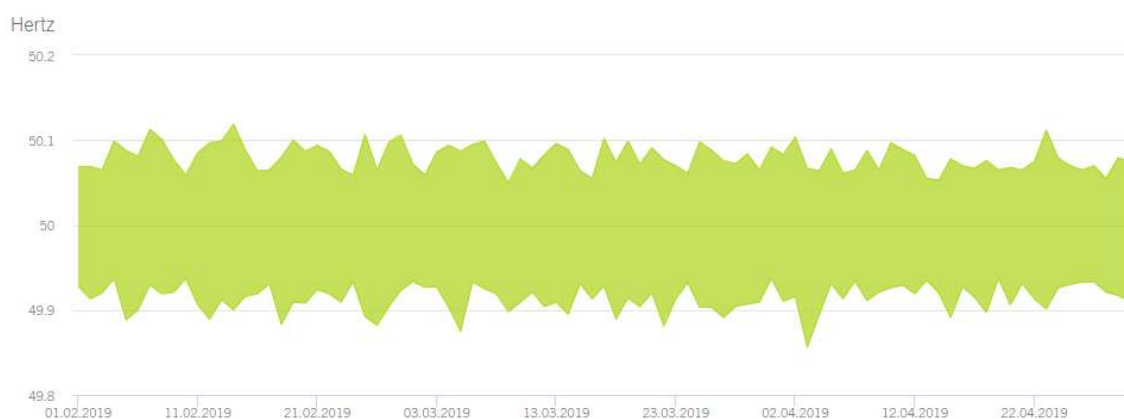
Põhjamaade sageduse kõikumistel, on kindel mõju taastuenergiaallikate võimsuste suurel osakaalul, mis suurendab ka kondensatsioonjaamade toimimise osatähtsust elektrisüsteemi töö stabiilsuse tagamisel [13]. Põhjamaade elektrisüsteemi normaalne sagedusvahelik on määratletud vahemikus $50 \pm 0,10$ Hz. Perioode, kui sageduste kõikumine on väljaspool seda vahemikku, nimetatakse sageduse kõrvalekalleteks. [15] Joonisel 3.4 on toodud Põhjamaade NP kuuluvate riikide sageduse kõikumine, seisuga 01.05.2019, ajavahemikus kell 14.40 – 14.55.



Joonis 3.4. Põhjamaade sageduse kõikumine, seisuga 01.05.2019, ajavahemikus kell 14.40 – 14.55 [15].

Joonisel 3.4 näeme, et Põhjamaade sageduse kõikumistest ja tootmisvõimsuste päritolu arvestades võib Põhjamaade sageduse stabiilsust antud ajavahemikus heaks hinnata.

CEN sünkroonala tavapärase võrgutöös on korrapäraseid kõrvalekaldeid kuni $50 \pm 0,15$ Hz, kuid kõrvalekaldeid võivad ulatuda ka $50 \pm 0,20$ Hz [16]. Joonisel 3.5 on toodud kogu Euroopa sageduse kõikumine, ajavahemikus 01.02. – 30.04.2019 aastal, mis näitab, et korrapäraseid kõrvalekaldeid esineb ca poolel ajast.



Joonis 3.5. CEN sünkroonala sageduse kõikumine, ajavahemikus 01.02. – 20.04.2019 aastal, seisuga 01.05.2019 [16].

Kokkuvõtvalt võib öelda, et vaadeldud ajavahemikul jäid kõikide elektrisüsteemide sageduse kõikumised normide piiresse. Mis üheltpoolt näitab, et Baltimaade ümbersünkroniseerimisel IPS/UPS sagedusalast CEN sagedusalasse ei kajasta endas ohtu.

Samuti ei ole riskiks ka Venemaa poolne manipulatsioon Balti riikide sageduse stabiilsusega, kuna sellisel juhul riskiks Venemaa kogu oma elektrisüsteemi ebastabiilsusega.

Kõige väiksemad kõrvalekalded sageduse kõikumiseks on lubatud Põhjamaade elektrisüsteemis. IPS/UPS ja CEN sagedusalas võivad lubatud kõrvalekalded ulatuda $50 \pm 0,20$ Hz. Kuid elektrisüsteemide üldise sagedus stabiilsuse hindamiseks peaks tegema põhjalikumaid uurimusi.

Venemaa võib aga kunstlikult või mittekunstlikult esile kutsuda katkestusi, mis võivad Eesti elektrisüsteemide tööd olulisel määral häirida ja kahjustada, seda eriti olukorras, kui katkestused ei ole kooskõlas Eesti põhivõrgu haldaja poolt tehtavate katkestustega Eesti elektrivõrgus.

Tabelis 3.1. on toodud Eesti elektrisüsteemi ohustavate tänaste riskide ülevaade. Riske on hinnatud kolme palli skaalal, kus kolm näitab suurt riski ja üks väheolulist riski taset.

Tabel 3.1. Eesti elektrisüsteemi ohustavad riskid täna

Jrk number	Risk	Riski tase
1	Venemaa eraldub ise enne 2025. aastat Baltimaade elektrisüsteemist	3
2	Venemaa poolsed ette teatamata katkestused	2
3	Venemaa odava elektrienergia eksport ja transiit	3

Eesti seisukohalt, kui peaks tekkima olukord, et Venemaa katkestab kokkulepitust varem ühendusliinid, siis ühe riskina avaldub Baltimaade toimetulek saartalitlusena, ilma et oleks jõudnud kogu investeerimisprogrammiga lõpuni ja oleks suuteline tagama tarbijate varustuskindluse. Sellise lõppstsenaariumi oht on tänases olukorras vägagi reaalne, kuna viimase Eesti sisese 330 kV ringühenduse lüli Harku-Lihula-Sindi 330/110 kV õhuliini ehitustegevusega ollakse juba täna ajagraafikust maas ning kolmanda Eesti – Läti ühendusliini ehitamise ettevalmistustööd alles algusjärgus. Kuna olemasolevate Eesti – Läti

ühendusliinide rekonstrueerimisega ei saa alustada enne kolmanda Eesti – Läti ühendusliini valmimist, siis on ohus ka nende õigeaegne valmimine 2025. aasta lõpuks.

Samuti on suureks riskiks Venemaa poolsed ette teatamata katkestused, mis ei ole kooskõlas Eesti siseste katkestustega elektrivõrkudes. See võib oluliselt häirida ja halvata Eesti elektrisüsteemi tööd, omades suurt mõju Eesti elektrisüsteemi varustuskindlusele ja energiajulgeolekule.

Venemaa odava CO² kvoodi vaba elektrienergia eksport ja transiit Eesti põhja – lõuna suunaliste ühendusliinide kaudu teistesse Balti riikidesse ja Kaliningradi mõjutab täna oluliselt Eesti tootmisvõimsuste ekspordi konkurentsivõimet, kuna on maksustatud kõrgete CO² kvootide maksuga, mis on tänu EL energia – ja kliimapolitikale pidevas tõusus. Suutmata konkureerida Venemaa odava elektrienergia ei ole mõistlik Eesti elektrijaamade töö senine maht ja odavam on elektrijaamade töö seiskamine või osaline plokkide tööst väljaviimine.

Stsenaarium, kus tänu Venemaa odavale elektrienergia ekspordile on Eesti soojuselektrijaamade võimsused vähenenud ja Venemaa otsustab Baltimaadest varasemalt eralduda, on Eestile tõsiseks ohuks varustuskindluse tagamisel.

Tabelis 3.2. on toodud Eesti elektrisüsteemi desünkroniseerimist ohustavate riskide ülevaade. Riske on hinnatud kolme palli skaalal, kus kolm näitab suurt riski ja üks väheolulist riski taset.

Tabel 3.2. Eesti elektrisüsteemi ohustavad riskid desünkroniseerimisel

Jrk number	Risk	Riski tase
1	Enne desünkroniseerimist ei õnnestu kontrollida Eesti elektrisüsteemide toimimist avari olukorras	2
2	Enne desünkroniseerimist ei õnnestu kontrollida Eesti elektrisüsteemide toimimist püsiva eralduse olukorras	2
3	Tootmisvõimsuste ebapiisavus	3
4	Ülekande – ja reservvõimsuste ebapiisavus	3
5	Elektrisüsteemi töökindluse tagamiseks tehtavate investeeringute õigeaegne valmimine balti riikides	3

Kui enne desünkroniseerimist ei õnnestu eralduskatseid läbi viia, siis puudub ka 100 % kindlus, kõigi elektrisüsteemi osade töökindluses. Kui eraldumisel peaks juhtuma, et

elektrisüsteemi töökindlus ei vasta vajadustele, süsteemi toimimiseks puuduvad tootmisvõimsused ja ei suuda tagada süsteemi stabiilset tööd, on riskiks nii Eesti kui ka Baltimaade elektrisüsteemide *blackoutiks*. Oluline on siinjuures ka mitte ainult Eesti, vaid teiste Balti riikide elektrisüsteemide töökindlus ja toimimine. See eeldab kõigi Balti riikide, Poola ja Põhjamaade poolset panust investeeringute läbiviimist ülekandevõimsuste suurendamiseks ja tihedat koostööd süsteemihalduritega. Antud olukorras oleks võimalik ka autonoomne nii Eesti kui ka Baltimaade saartalitlus.

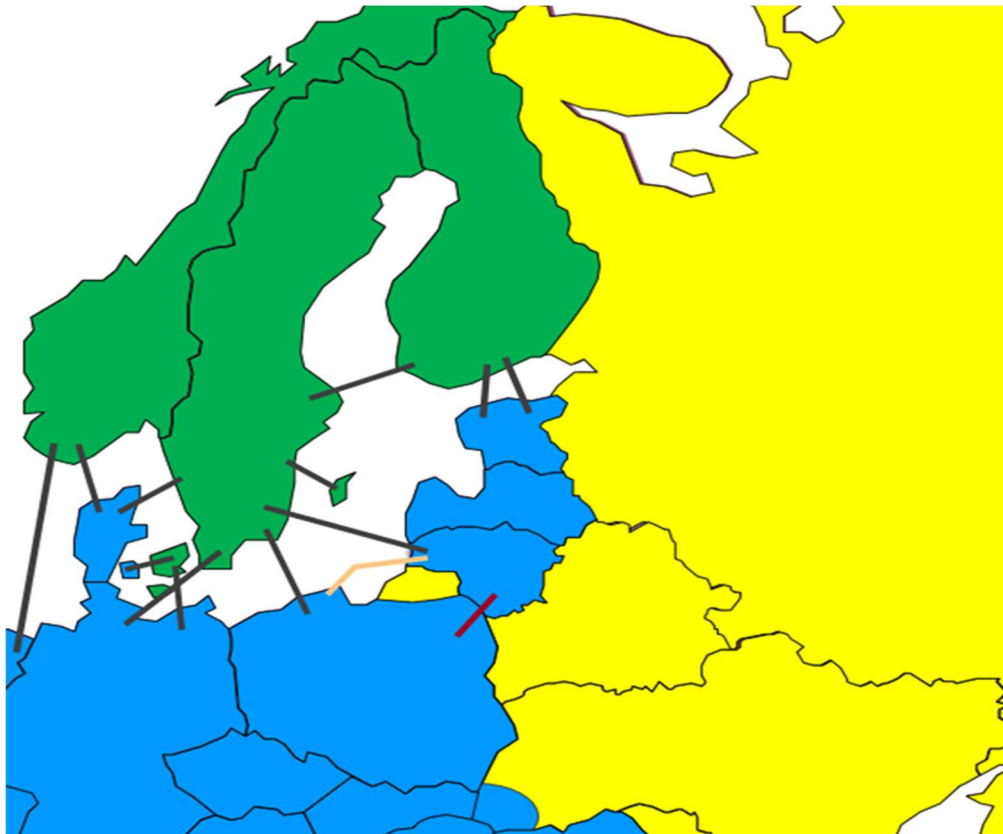
Desünkroniseerimise riskiks on ka Eesti ja teiste Balti riikide tootmisvõimsuste ebapiisavus, elektrihaamade järk – järguline tööst väljaviimise kontekstis, et katta tootmis – tarbimis tasakaal ja kindlustada varustuskindlus. Samuti on oht, et Baltimaad ei suuda tagada kõikide desünkroniseerimiseks vajaminevate investeeringute väljaehitamist, suutmata tagada sellisel juhul elektrisüsteemide toimimiseks vajaminevas mahus ülekande – ja reservvõimsusi.

4. EUROOPA SÜNKROONALAS TOIMIMISE RISKID JA MAKSUMUS

Eesti elektrisüsteemide toimimist ohustavad erinevad riskid nii olukorras, kui jäädakse ühendatuks IPS/UPS sünkroonalaga ja ka juhul, kui ühinetakse CEN sünkroonalaga.

20. detsembril 2018. aastal desünkroniseerimise ümarlaval Tallinnas, jõudsid TSO ja Euroopa elektri süsteemihaldurite ühendus (ENSTO-E) üksmeelele desünkroniseerimise edasistes sammudes ja strateegilistes punktides sünkroniseerimise läbiviimiseks [9, 17]. Baltimaade ühendamine CEN sünkroonalaga läbi Leedu – Poola ühendatavate vahelduvvoolu ühendusliinide ja lisanduva alalisvoolukaabli, on lähtuvalt varasematest uurimustest [18, 19], nii tehnilistest aspektidest kui ka majanduslikult vajaminevatest investeeringutest lähtuvalt, parim võimalik lahendus ning viiks kõige kiiremini soovitud tulemuseni. Seda on kinnitanud ka Poola elektrisüsteemihaldur (PSE), saatis 21. septembril 2018. aastal ENSTO-E Mandri-Euroopa regionaalsele töögrupile Baltikumi elektrisüsteemihaldurite taotluse ühineda CEN-ga ning kinnitasid, et on valmis ka omaltpoolt panustama Baltimaade sünkroniseerimise projekti edukaks läbiviimiseks [20].

Otsustatud on, et olemasolev LitPol Link1, võimsusega 500 MW jääb vahelduvvoolu ühendusena kasutusele Baltimaade elektrisüsteemide sageduse hoidjana ning uus Leedu – Poola ühendusliin ehitatakse välja alalisvoolukaablina merre energiakaubanduse säilitamiseks. Uus alalisvoolu ühendusliin peaks võimaldama miinimum 500 MW kuni maksimum 700 MW kaubanduslikku võimsust ja 100 MW kiiret sagedusabi [17], vastavalt joonisele 4.1.



Joonis 4.1. Balti riikide sünkroniseerimine CEN: *punane joon* – olemasolev Leedu – Poola vahelduvvooluliin; *beež joon* – planeeritav Leedu – Poola alalisvoolukaabel merre; *must joon* – olemasolevad alalisvooluühendused [9].

Lisaks on EL kaasrahastusel välja ehitatud kaks Soome – Eesti alalisvooluühendust EstLink1 ja EstLink2 võimsustega 350 MW ja 650 MW, Leedu on ühendatud Rootsiga läbi NordBalt kaabli võimsusega 700 MW [21]. Lätiga on Eesti ühendatud kahe vahelduvvooluühendusega, võimsusega 850 – 1000 MW ja Venemaaga kolme vahelduvvooluühenduse, võimsusega 800 – 950 MW [22].

Maksimaalsed võimsused, mida on võimalik naaberriikidel omavahel importida ja eksportida, sõltub nii liinide tehnilisest läbilaskevõimest, mis võib oleneda nii välitemperatuurist, kui ka näiteks liinide remont/hooldustöödest ja süsteemi stabiilsuse piirist, mille määravad režiimiarvutused. Piirangu seab nendest kahest tingimusest väikseim. Antud piiranguid peaks Eesti – Läti suunal leevendama hakkama Eesti – Läti kolmas 330 kV ühendusliin ja olemasolevate Eesti – Läti ühendusliinide rekonstrueerimine.

Peamiseks probleemiks Baltimaade ühinemisel CEN-ga nähakse siiski sageduste hoidmist. Liialt kiire sageduste muutumine võib viia *blackoutini* Baltimaades. Selleks on oluline luua

ühtne sageduse stabiilsuse hindamise süsteem (FSAS), mis koondaks kogu teabe Baltimaades, Euroopas ja Põhjamaades: vahelduv – ja alalisvooluliinidest, generaatoritest, paigaldatavatest sünkroonkondensaatoritest, kõigest, mis võib mõjutada sageduste kõrvalekaldeid [17]. Sellise süsteemi arendamine ja funktsioneerimine on väga aja – ja kapitalimahukas ning nõuab kõigi osapoolte koostööd. Lisaks uue Leedu – Poola ühenduse loomisele tuleb tagada, et nii CEN ühendus kui ka Põhjamaade elektrisüsteem oleks võimelised pakkuma Balti riikidele katkestuste korral nii Leedu – Poola ehitatava alalisvooluühenduse ja olemasolevate Soome – Eesti alalisvooluühenduste kaudu mõlemalt poolt 100 MW kiiret sagedusabi. Soome – Eesti alalisvooluühenduse 100 MW sagedusabi võetaks kasutusele vaid juhul, kui CEN seda pakkuda ei suuda [17]. Sageduse stabiilsuse tagamiseks vahelduvvooluühenduste katkemisel rakendatakse täiendavate meetmetena sünkroonkompensaatoreid [23].

19. märts 2019. aastal sõlmis Eesti põhivõrguhaldaja Euroopa Komisjoniga rahastamislepingu ümbersünkroniseerimise esimese etapi finantseeringute rahastamiseks enam kui 140 miljonile eurole Euroopa ühendamise rahastuse fondist (ECF) [22]. Kaasrahastusest finantseeritakse olemasolevate Eesti – Läti 330 kV õhuliinide rekonstrueerimise projekte, mille eesmärgiks on Eesti – Läti vaheliste ülekandevõimsuste suurendamine 700 MW võrra, uuendatakse juhtimissüsteeme ning täiendatakse pingestabiliseerimise seadmeid [24].

Majanduslikult ja tehniliselt on eelpool nimetatud stsenaariumi elluviimiseks vaja teostada järgmised investeeringud [17]:

- uus Leedu – Poola alalisvoolukaabel ca 650 miljonit eurot, pluss 10 % kiire sagedusabi tagamise maksumus;
- sünkroonkompensaatorite paigaldamine, et süsteemi toimimiseks vajalik inerts oleks tagatud elektrisüsteemide stabiilse töö genereerimiskooseisu korral, sealhulgas taastuvelektri osakaalu suurenemisel, ca 25 miljonit eurot;
- FSAS süsteemi loomine ja olemasoleva alalisvoolu ühenduste juhtimissüsteemi uuendamine, ca 10 miljonit eurot.

Eelpool nimetatud investeeringutele lisanduvad Balti riikide siseriiklike ja riikidevaheliste investeeringute maksumus kogusummas ca 1,7 miljardit eurot. Sellest Eesti sisesteks ja ülepiirilisteks investeeringuteks kulub ca 260 miljonit eurot [25], investeeringuteks Lätis 445 miljonit eurot [26] ja Leedu elektrivõrkude investeeringuteks ca 460 miljonit eurot [27].

Oluline on jätkata Baltimaade põhja – lõuna suunaliste sisevõrkude tugevdamisega, et ühtlustada sagedusstabiilsuse tagamine kõigis Balti riikides.

Sageduse stabiilsuse tagamises kõigis Balti riikides võrdselt, võib näha Eesti elektrisüsteemide toimimise seisukohalt ühe riskitegurina. Eesti elektrisüsteemid jääksid antud juhul CEN sünkroonala lõppu, kus Poola – Leedu – Läti järel ollakse ühendusliinide lõpus. Teiselt poolt oleks jällegi tagatud läbi Soome – Eesti ühendusliinide tugev toetus Eestile Põhjamaade elektrisüsteemist. Seda juhul, kui kindlustatakse Soome – Eesti alalisvoolühenduste kaudu kiire sagedusabi.

Sageduse stabiilsuse kvaliteedis näevad riski ka teised liikmesriigid, kes on pigem mures CEN ala võrgu parameetrite kvaliteedis peale Baltimaade sünkroniseerimist. Peamiseks murekohaks on inertsiga tagamise võimekus [18].

Sünkroniseerimine eeldab ka Balti riikide täielikku alluvust EL energia – ja kliimapolitiikast tulenevatele nõudmistele, kus riski kohaks on elektrituru toimimisele kehtestatavad reeglid, mida Eesti täna ei toeta. Nimelt on Euroopa Komisjoni soov luua regionaalsed juhtimiskeskused, kellele antakse otsustusõigus regioonide tasandil, arvestamata iga riigi konkreetset olukorda tootmisvõimsuste tagamise võimalustel ja turu üldiseid iseärasusi. Eesti põhivõrguhaldaja ei poolda ka Euroopa Komisjoni poolt lubatud turumoonutusi, mida tekitab täna näiteks Venemaa odava elektrienergia sissevool EL liikmesriikidesse ja hinnalagede olemasolu, mis ei võimalda turuosalistel elektrienergia defitsiidis teenida õiglast tasu [1].

Tabelis 4.1. on toodud Eesti elektrisüsteemi ohustavate riskide ülevaade sünkroontöös CEN-ga. Riske on hinnatud kolme palli skaalal, kus kolm näitab suurt riski ja üks väheolulist riski taset.

Tabel 4.1. Eesti elektrisüsteemi ohustavad riskid sünkroontöös CEN-ga

Jk number	Risk	Riski tase
1	Sageduse stabiilsus	3
2	Baltimaade <i>blackout</i>	2
3	EL ja Eesti energiapoliitika vastandumine ühisturu reeglitele	2
4	Bilansienergia tootmine regioonis	2
5	Bilansivõimsuste vähenemine Eestis, põlevkivi võimsuste vähenemise tingimustes	3

6	Turuhinna langus tasemele, mis ei soosi investeeringuid täiendavatesse tootmisvõimsustesse	3
7	Läänemere regiooni mitte kuuluvate EL liikmesriikide vähene huvi ja toetus Baltimaade liitumiseks CEN-ga	2
8	Liini pingete erinevus Baltimaades ja Euroopas	2
9	Inertsiga tagamise võimekus	3
10	Eestist saab elektrienergia importija	3
11	Investeeringuteks katete leidmine	2

Toodud riskid on peamisteks ohtudeks Eesti elektrisüsteemi toimimisel ja arengul CEN sünkroonallas. Integreerumine CEN-ga küll suurendab EL energiajulgeolekut, kuid kärbib omakorda riikide otsustusõigust siseriiklikus energiapoliitikas ja nõrgestab varustuskindluse tagamise võimalusi.

2024. aastaks on Eesti elektrijaamade tootlikust plaanis langetada 600 MW võrra ja kuna tänane turuolukord ei soosi investeeringuid uutesse tootmisvõimsustesse, on Eesti seisukohalt tegemist suhteliselt suure väljakutsega, tagada varustuskindlus, leida rahaline kate investeeringuteks uutesse tootmisvõimsustesse ja jälgida EL energia – ja kliimapoliitikat.

5. VARUSTUSKINDLUSE TAGAMISE TEHNILISED VÕIMALUSED JA MAKSUMUS

Varustuskindlust on mõistlik planeerida pikemaajaliselt, kuna energeetika valdkonnas tehtavate otsuste elluviimine on üldjuhul tehniliselt väga keerukas, majanduslikult kulukas ning nende tööle rakendumine väga ajamahukas.

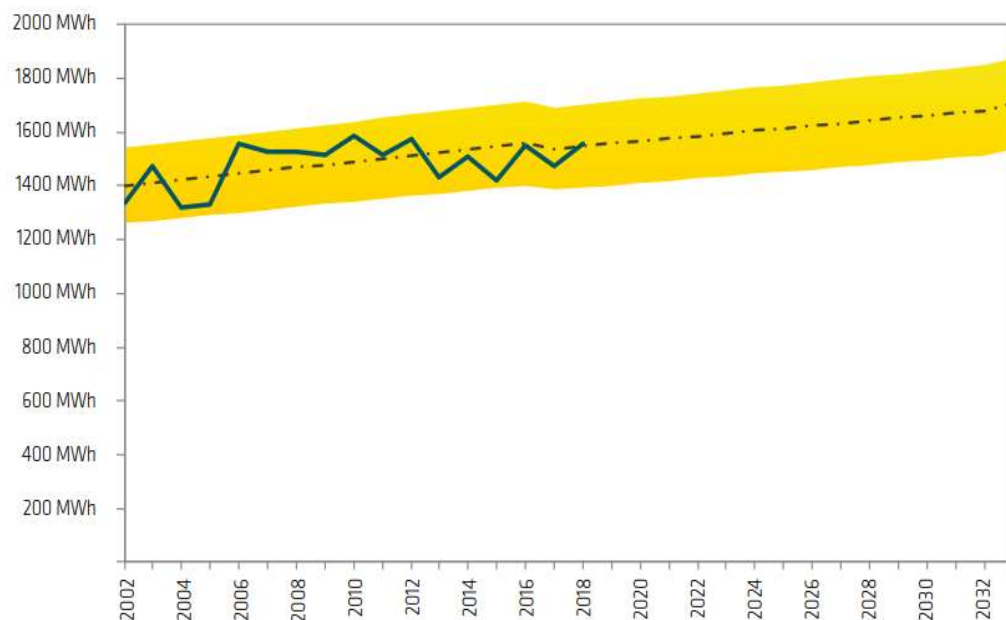
Eesti seisukohalt on pikemas perspektiivis varustuskindluse kõige suuremaks mõjutajaks desünkroniseerimine IPS/UPS sünkroonlast, vanade elektrijaamade sulgemine ja alternatiivsete tootmisvõimsuste leidmine ning neisse tehtavad investeeringud. Ühiskonna ja majandusarengu seisukohalt on oluline, et investeeringute maksumus varustuskindluse tagamisse ei mõjutaks elektrienergia hinda ega majandusarengut negatiivselt. Tootmise ja tarbimise tasakaalu tagamiseks tehtavad investeeringud peaksid eelkõige lähtuma riikide sisesest varustuskindluse tagamise põhimõtetest ning ei tohiks olla poliitiliselt mõjutatavad.

Kõige mõjusamaks faktoriks Eesti varustuskindluse seisukohalt on täna Venemaalt sissetulev CO₂ maksuvaba odav elektrienergia, mis tekitab energiaturul turumoonutusi ja soodustab ebavõrdset konkurentsi ja pärsib omakorda põlevkivielektrijaamade tööd. Pikemas perspektiivis Narva elektrijaamade (Balti, Eesti ja Auvere) plokkide lõplik sulgemine või piirangutega kasutamine 2024. aasta lõpuks, mis oluliselt mõjutaba Eesti tootmis – tarbimis tasakaalu ning muudab Eesti elektrienergiat importivaks riigiks ning varustuskindluse tagamise sõltuvaks regiooni tootmispiisavusest [1].

2018. aasta aprillikuu seisuga oli Eestis installeeritud netovõimsusi 2828 MW ja tipuaja maksimaalne tootmisvõimsus 1848 MW, hoides Eesti tootmis – tarbimisvõimsused positiivsena. 2028. aastaks on tipukoormuse prognoos 1680 MW ja tootmisvõimsusi 1110 MW, millele lisandub 1050 MW taastuenergiaallikate tootmisvõimsusi [1]. Taastuenergiaallikatest tulevate tootmisvõimsuste puhul ei ole tagatud tootmis – tarbimise tasakaal, kuna need on tugevalt mõjutatud üha ekstreemsematest ilmastikutingimustest, mis mõjutavad tootmisvõimsuste mahtu ja seetõttu ei saa neid baaskoormuste arvutamisel 100 % arvesse võtta. See viib siseriikliku energiabilansi ja varustuskindluse tagamise negatiivseks.

2020. aasta lõpuks on koos kolmanda Eesti – Läti ühendusega arvestuse kohaselt Eestil üle 2000 MW impordivõimekust [1]. Selline impordivõimekus välisühendustest on kõrgem, kui antud hetkeks prognoositud Eesti tiputarbimine, mis võimaldab küll regiooni üleselt tagada Eesti varustuskindluse, kuid siseriiklikust aspektist mitte, jättes Eesti sõltuvaks Põhjamaade regiooni tootmisvõimsustest, kuna Poola – Leedu uut alalisvoolu merekaablit veel ei ole.

Eesti üldine elektrienergia tarbimine näitab kasvutrendi, kuid tipukoormused on samas püsinud 1500 – 1600 MW piirimail. Vastavalt Tallinna Tehnikaülikooli teostatud uuringule 2017. aastal [1] on ette näha tarbimise kasvust tingitud tipukoormuste tõusu 2033. aastani, arvestamata siinjuures võimalike suurtarbijate lisandumisega. Joonis 5.1. illustreerib Eesti tipukoormuste prognoosi aastani 2033.



Joonis 5.1. Tipukoormuste prognoos aastani 2033 [1].

Jooniselt näeme Eesti tipukoormuste pidevat tõusu, mis omakorda eeldaks ka tootmisvõimsuste järk – järgulist kasvu. Selle eelduseks on investeeringud elektrivõrkude ja – süsteemide arengusse.

Eesti varustuskindluse tagamiseks ja IPS/UPS sünkroonalast eraldumiseks tehtavad investeeringud on toodud tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Varustuskindluse tagamiseks tehtavate investeeringud ja maksumus [1, 25]

Nr	Investeeringu nimetus	Maksumus	Planeeritud valmimine	Staatuse
1	L503 Harku-Lihula-Sindi 330/110 kV õhuliin	60 MEUR	2021	Ehitamisel
2	L502 Riia TEC2 – Kilingi-Nõmme 330 kV õhuliin	4,5 MEUR	2020	Ehitamisel
3	L300 Balti – Tartu 330 kV õhuliin	52 MEUR	2022	Planeerimisel
4	L301 Tartu – Valmiera 330 kV õhuliin	31 MEUR	2023	Planeerimisel
5	L353 Viru – Tsirguina 330 kV õhuliin	73 MEUR	2025	Planeerimisel
6	Harku 330 kV lahter	1,05 MEUR	2019	Ehitamisel
7	Sindi 330 kV lahter	2,3 MEUR	2020	Ehitamisel
8	Kilingi-Nõmme 330 kV alajaam	3,1 MEUR	2019	Ehitamisel
9	Juhtimisüsteemide uuendamine ja pingejuhtimisseadmete paigaldamine	30 MEUR	2025	Planeerimisel
10	Ettevalmistustööd Baltikumis: Balti AGC süsteemi stabiilsuskontrolli monitooringusüsteem (Eestis)	2,0 MEUR	2025	Planeerimisel

Tabelis 5.1. on toodud investeeringud kogumaksumusega ca 260 MEUR, mis on peamiselt suunatud Eesti varustuskindluse tagamiseks. Tootmispiisavuse suurendamiseks ja alternatiivsete tootmisvõimsuste väljaehitamiseks investeerimiskava Eestil tänase seisuga puudub. Kõik tabelis 5.1 toodud investeeringud on seotud EL energiapoliitiliste eesmärkide täitmisega, sünkroniseerida Balti riigid CEN-ga ja tugevdada EL energiajulgeolekut Baltimaade eraldumisega IPS/UPS sagedusalast ja laiendada ühtset energiaturgu. Õõnestades samas Eesti siseriikliku varustuskindlust, suurendades importi ja mõjutades elektrienergia hinda.

Olles elektribörsi NP osa ja 2018. aasta 1. jaanuarist alustas tööd ka Balti regionaalne talitluskindluse koordinaator (Balti RSC), kelle peamiseks funktsiooniks on regiooni töökindluse tõstmine, on muutunud ka Balti riikide varustuskindluse tagamise põhimõtted [1].

Olukorras, kus Eesti jääb varustuskindluse tagamisel lootma regiooni tootmispiisavusele ja energia impordile, peab Eesti põhivõrguhaldaja tagama Eesti elektrivõrkude täieliku töökindluse, seda nii tava – kui avariiolekorras. Kindlustama liinide töökindluse, vähendama

liinide katkestustunde, tagades elektrivõrkude töö ilmastikutingimustest tekkivate rikete korral, kiire süsteemi taas käivitamise ja lisama süsteemi avariioreserve.

Olemasoleva põlevkivi elektrijaamade sulgemisega peaks Eesti investeerima alternatiivsetesse tootmisjaamadesse nagu: koostootmis-, tuuma-, turba-, maagaasi-, biomassi jaamad. Need peaks aga olema vastavuses EL energia – ja kliimapoliitika nõuetele, olema keskkonda säästevad ja kulutõhusad. Ilmselge on, et alternatiivide seas odavaid ja kiireid lahendusi ei ole, mis kataks järgneva 30 – 40 aasta tootmis – tarbimise, tagaks siseriikliku energiajulgeoleku ja varustuskindluse. Samuti ei saa pelgalt välisühenduste peale lootma jääda, eriti arvestades teiste Balti riikide energiabilansi tasakaalustamise võimalusi.

Eestil on vaja kindlustada tootmisvõimsused, millega on võimalik tipukoormused katta, ning mis sõltumata ilmastikust ja muudest faktorites oleks alati tagatud. Täna on Eestile selliste võimsuste tagamiseks parim lahendus siiski põlevkivist saadavad võimsused. See ei ühti küll EL energia – ja kliimapoliitikaga, kuid see on valdkond, kus meil on teadmised, oskused, vajalik ressurss inimeste ja maavara näol ning millega on võimalik kindlustada Eesti elektrisüsteemi varustuskindlus lähitulevikus.

Ühe lahendusena, mis tagaks Baltimaade nii energiajulgeoleku kui ka varustuskindluse probleemid, oleks IPS/UPS sünkroonala liitumine CEN-ga. See nõuaks küll mõlema osapoole suurt tahet ja läbirääkimised ühise energia – ja kliimapoliitika osas oleks keerulised ning nõuaks mõlema osapoole kompromisse, kuid ühisel turul ühtsete reeglite järgi toimimine maandaks omaltpoolt tugevalt tänaseid energiajulgeoleku riske ja muudaks üldpildis elektrisüsteemid töökindlamaks.

6. BILANSIENERGIA TOOTMISE VÕIMALUSED LÄÄNEMERE REGIOONIS

Eesti elektrisüsteemi desünkroniseerimisel IPS/UPS sünkroonalast, muutub ka Eesti bilansienergia tagamise struktuur. Täna toimub Eesti energiabilansi tagamine koordineeritult BRELL ühendusse kuuluvate süsteemihaldurite juhtimiskeskustega ning tänu Soome – Eesti vaheliste alalisvooluühendustele ka Soome süsteemihalduri juhtimiskeskusega koostöös.

Üha kiirenev tehnoloogiate areng energiasektoris, muudab aga pidevalt energiatööstuse mudelit, mis lisab tootjatele ja tarbijatele turul uusi võimalusi ja kasvatab elektrivõrgu paindlikkust. Süsteemi bilansi seisukohast on oluline aga tootmise ja tarbimise ning piiriüleselt siseneva ja väljuva elektri tasakaal, mis sõltub suuresti tootmisvõimsuste asukohast ja elektriliste võimsuste toomise viisist.

Läänemere energiaturgude ühendamise kava (BEMIT) üks seatud eesmärkidest on Põhja – ja Baltimaade ühise reguleerimisturu arendamine ja reguleerimisreservide alase koostöö edasiarendamine. 2014. aastal läbiviidud uuringu „*Feasibility Study Regarding Cooperation between the Nordic and the Baltic power systems within the Nordic ENTSO-E pilot project on Electricity Balancing*“ näitas, et selline koostöö on täiesti võimalik. Põhja – ja Baltimaade ühine reguleerimisreservide turg standardtoodete osas on täiesti realistlik ning sarnaste turukorraldustega on võimalik ka kogu Läänemere regiooni integreerimine ühtseks reguleerimisturuks [28]. Lõppeesmärgiga luua kogu EL ühine elektrienergia tasakaaluturg, mis põhineb ühtsetel turureeglitel, andes kõigile tootjatele ja tarbijatele samad võimalused.

Kui vaadata Läänemere piirkonda üldiselt, on kogu regioon suurtes muutustes. Turul osaleb väga palju erinevaid energiatootmise allikaid ja suurt osatähtsust sealjuures omab üha kasvav taastuvenergiaallikate turule tulek ja soojuselektrijaamade turult järk – järguline eemaldumine.

Taastuvenergia allikate osakaalu suurenemine turul ja järjest ekstreemsemad ilmastikuolud, mis muudavad tootmise prognoosimise taastuvenergiaallikatest raskemaks, näitab, et regiooni varustuskindluse suurendamiseks tuleb turule kaasata alternatiivseid

tootmisallikaid nagu näiteks koostootmis-, biomassi- ja turbajaamad, tagades nii piisava pakkumise regioonis, et rahuldada tarbija nõudlust [28].

Ühiste turulahenduste loomine Läänemere regioonis on peamiseks lahenduseks, mis aitab tagada tootmispiisavuse, energiasüsteemi tõhusa kasutamise, läbipaistvad investeerimissignaalid ja konkurentsivõimelised hinnad turul. Turg peab seejuures olema paindlik ja läbipaistev võrdselt kõigile osapooltele ning hinnastamispoliitika võimalikult soodne investeeringuteks täiendavatesse tootmisvõimsustesse regiooni eri piirkondades. Eesti seisukohalt on eriti oluline uute tootmisallikate lisandumine tulevikus, kuna see aitaks korvata soojuselektrijaamade sulgemisest tulenevat puudujääki.

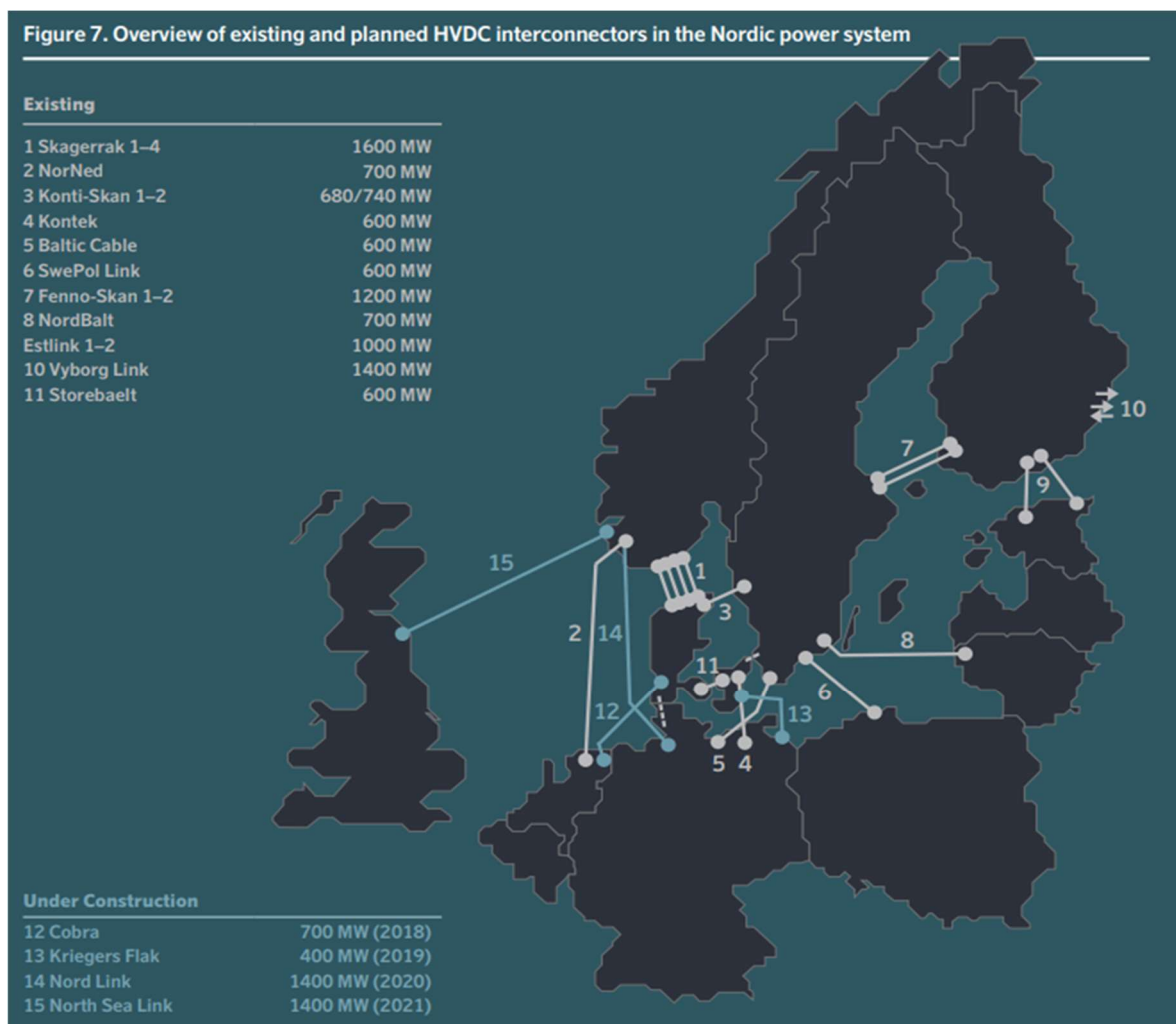
Põhjamaade turg on lähiaastatel tegemas suuri investeeringuid, seda eriti Soome ja Rootsi põhjaosas, kus plaanitakse olulist taastuenergiaallikate osakaalu kasvu. See omakorda nõuab investeeringuid ülekandeliinidesse põhja – lõuna suunal nii siseriiklikult kui ka regionaalselt. Tugevad ülekandeliinid hõlbustavad piiriülest energiatootmise kasutamist, aitavad turgudel integreeruda ja lihtsustavad süsteemiteenuste kasutamist. Planeeritud mahus tehtavad investeeringud Põhjamaades suurendavad tulevikus aastase tiputarbimise katet, mida on ühise bilansienergiaturu olukorras võimalik regioonis optimaalsemalt jaotada. [29]

Võib eeldada, et tulevikus kasvab Põhjamaades elektrienergia ekspordi vastu huvi oluliselt. Seega on Põhjamaadele kasulik nii Baltimaade kui ka Mandri – Euroopa integratsioon ühtseks tasakaaluturuks. Lisaks on integratsioon Läänemere regioonis kasulik turu tasakaalustamise seisukohalt, kus Põhjamaad hüdroenergiaga, Mandri – Euroopa soojuselektrijaamade ja Taani tuuleenergiaga suudaksid ühiselt parandada ühisturu stabiilsust energiasüsteemis, tagades süsteemi inertsit.

Inerts on energiasüsteemi stabiilsuse tagamiseks hädavajalik. Inertsit tagamine on arvatavasti ka Läänemere regiooni üheks suurimaks väljakutseks. Kuna tulevikus toodetakse üha enam võimsusi erinevatest tootmisallikatest, kus samaaegselt ei ole võimalik inertsit tagada. Lisaks vähendab inertsit süsteemis ka elektrienergia import alalisvoolukaablite kaudu. Seega võib näiteks suur energiaimport Põhjamaadest Baltimaadesse põhjustada inertsit ebapiisavuse süsteemis, mis omakorda muudab kogu elektrisüsteemi häiretele tundlikumaks. Muutes seeläbi ka sageduse stabiilsuse tagamise raskemaks. [29]

Täna olukorras tagavad Baltimaade elektrisüsteemide tasakaalu ja inerts Eesti põlevkivi soojuselektrijaamad, Läti hüdroelektrijaam ja soojuselektrijaamad, Leedu hüdroakumulatsioonijaam, mida toetavad omaltpoolt Venemaa gaasijaamad [29].

Selleks, et Läänemere regioonis oleks nii inerts kui ka bilansienergia tagatud, tuleb tugevdada riikidevahelisi ülekandeliine ja kindlustada tootmispiisavus iga regiooni kuuluva riigi poolt. Joonisel 6.1 on näha Läänemere regioonis olemasolevad ja planeeritavad riikidevahelised ülekandeliinid.



Joonis 6.1. Läänemere regiooni riikidevahelised ülekandeliinid [29].

Joonisel 6.1. näeme, et Põhjamaade ja Baltimaade vahel on kokku täna ülekandevõimsust 1700 MW, mis tuleb Soome – Eesti ja Rootsi – Leedu ühendusliinidest ja tulevikus peaksid varustama Balti riike piisavas mahu, et tagada tootmis – tarbimise tasakaal. Jooniselt on

puudu planeeritav Leedu – Poola alalisvoolukaabel, mis aitab tulevikus Baltimaade elektrisüsteemidel integreeruda Mandri – Euroopaga.

Ainsa Balti riigina puudub täna veel Lätil ühendus Põhjamaadega, mistõttu oleks regionaalsel koostööl eriti oluline, et Soome – Eesti, Eesti – Läti ning Rootsi – Leedu ja tulevane Leedu – Poola ülekandeliinid oleks töökindlad ja suudaks kõiki Baltimaid varustada piisavalt ülekandevõimsustega. Tulevikus võiks kaaluda ka lisanduva neljanda Põhjamaade – Baltimaade vahelise alalisvooluühendusliini väljaehitamist, et kindlustada stabiilsed energiavood Põhjamaadest Baltimaadesse.

Ülepiiriliste ülekandeliinide tugevdamisest üksi aga ei piisa, on vaja suurendada tootmisvõimsuste mahtu regioonis võrdselt igas piirkonnas. Tabelis 6.1 on toodud Läänemere regiooni tootmisvõimsuste maht 2018. aasta seisuga [30] ja tootmisvõimsuste prognoos 2030. aastaks [1, 31, 32, 33].

Tabel 6.1. Läänemere regiooni tootmisvõimsused 2018. aastal ja 2030. aasta lisanduvate tootmisvõimsuste prognoos

	Eesti (MW)	Läti (MW)	Leedu (MW)	Poola (MW)	Soome (MW)
2018	2832	2829	3552	39878	17 370
Fosiilne / Muu	2378	1121	2717	32050	10 035
Taastuv	454	1708	835	7828	7335
2030	2238	3244	3469	69050	20470
Fosiilne / Muu	1050	1121	1139	32050	11235
Taastuv	1188	2050	2330	37000	9235

Tabel 6.1. näitab kõikides lähiriikides olulist taastuvenergia tootmisvõimsuste kasvu. Bilansienergia tagamisel on oluline sellises ulatuses taastuvenergia allikate osalemisel turul, et iga riik suudaks iseseisvalt võimalikult suures mahu oma bilansivajaduse katta ja mitte jääma lootma naaberriikide tootmispiisavusele. Näiteks võivad ekstreemsed ilmastikuolud kergesti tekitada näiteks Soomes ja ka Lätis energia defitsiidi, mistõttu ei oleks mõistlik energiat eksportida, vaid prioriteediks on siseriiklik varustuskindlus.

Baltimaade ühinemisel CEN-ga peavad Balti riigid tagama omaltpoolt ka pöörleva reservvõimsuse olemasolu tipu – ja bilansienergia tasakaalustamiseks regioonis ja avariireservvõimsused, mille katteks on Kiisa kahe blokiline avarielektrijaamaga, Kiisa AREJ 1 (110 MW) ja Kiisa AREJ 2 (140 MW) [1].

Tänane turegulatsioon ei stimuleeri tuleviku perspektiivis investeeringuid uutesse tootmisvõimsustesse. Samuti on üheaegselt investeerimine desünkroniseerimiseks ja EL energiapoliitika jälgimine, suurendades investeeringuid taastuvenergia tootmisvõimsuste osakaalu suurendamisse, Eestile väga kapitalimahukad ning pärsivad osalt nii olemasolevate kui ka planeeritavate tootmisvõimsuste arengut. Arvestades veel ka, et ükski investeering energiasektoris ei kanna vilja üleöö ning et tulevikus väheneb Eesti iseseisev võimekus varustuskindluse tagamisel, kuna põlevkivi jaamade osakaal väheneb, peaks Eesti täna panustama tugevalt pöörlevate reservvõimsuste tagamisele. Milline lahendus kõige optimaalsem oleks, vajab kindlasti täiendavaid uuringuid.

Läänemere regiooni ühise bilansienergia turu loomisel on vaja läbi viia süsteemis olulised muudatused, et tänased turud saaksid edukalt ühineda ja bilansienergia vajadus oleks tagatud kõikides piirkondades võrdselt. Täna olukorras on riigiti bilansienergia tagamisele kehtestatud vägagi erinevad nõudmised, millede koostöömiseks tekiks ebavõrdne konkurents ja takistaks kõikidel turuosalistele võrdse kohtlemise. Tabelis 6.2. on toodud elektribörsi NP tänased tingimused ja CEN sünkroonala ühisturu tingimused bilansienergia tagamisel, mis võimaldaks Läänemere regioonis ühisel bilansiturul toimida.

Tabel 6.2. NP tänased tingimused ja CEN sünkroonala ühisturu tingimused bilansienergia tagamisel [29, 34]

Tänased kriteerium NP	Euroopa sünkroonala toimimise kriteeriumid
Päevasisese kauplemise tehingute sulgemise aeg enne tarne algust 60 minutit	Päevasisese kauplemise tehingute sulgemise aeg enne tarne algust 30 minutit
Tasakaalustusperiood 60 minutit	Liikuda tasakaalustusperioodi lühendamise suunas kuni 15 minutile
Piirkonniti eraldi süsteemihaldurid	Süsteemihaldurite suurem koostöö, regionaalse juhtimiskeskuse loomine
Kaubeldavate toodete erinevused	Kaubeldavate toodete ühtlustamine
Siseriiklikud ja piiriülesed turud	Paralleelturgude kaotamine
Hinnastamisreeglite erinevus	Ühised hinnastamisreeglid
Piirkondlikud pakkujate nimekirjad	Ühine pakkujate nimekiri kogu regioonis
Piirkondlikud bilansituru platvormid	Regionaalne bilansituru platvorm
Bilansivastutuse puudumine	Kõikide turuosaliste võrdne bilansivastutus
Turuosaliste ühiste reeglite puudumine	Ühiste reeglite kehtestamine kõikidele turuosalistele

Päevasisese kauplemise tehingute sulgemise aja lühendamine 60 minutilt 30 minutile võimaldaks taastuvenergia jaamadel aktiivsemalt turul osaleda. Täna olukorras on see

piiratud, taastuenergia jaamade kõige tõhusam viis kauplemiseks, oleks võimalikult lähedal reaaljale, kuna alles siis selguvad nende tegelik tootmisvõimekus ja – hind.

Tasakaalustamisperioodi lühendamine 60 minutilt 15 minutile võimaldaks bilansi täpsemalt planeerida ja toetaks seega süsteemi sageduse stabiilsust. See on eriti oluline peale IPS/UPS ühendusest desünkroniseerimist. Süsteemi tasakaalu hoidmiseks saab samade reservide juures võimaldada rohkemate juhitamatute tootmiseadmete (tuulikud, päikesepargid) lisamist süsteemi, lisaks pöörlevate generaatorite võimsustele. Lühem tasakaalustamisperiood tagaks ka elektrisüsteemi vajaliku paindlikkuse nii tootmises kui ka tarbimises [1]. Täna on olukorras on riigiti tasakaalustusperioodid 60, 30 ja 15 minuti.

Vältida tuleks siseriiklike ja piiriüleste turgude paralleeltööd riikide siseselt. Kogu regioonis peavad kõigile piirkondadele kehtima ühised reeglid, ainult siis oleks regiooni bilansienergia vajadused kaetud kõige efektiivsemalt.

Tuleks tagada samade standardtoodete alusel piiriülese reguleerimisenergia vahendus, reguleerimispakkumiste ühine nimekiri ning ühised bilansienergia hinnastamise reeglid. Täna koordineerib iga piirkond oma turuosaliste nimekirja ja on kehtestanud oma hinnastamisreeglid, mis ei soodustaks ühtse tasakaaluturu stabiilset tööd.

Täna on olukorras puudub ka kogu regiooni bilansituru platvorm, mis võimaldaks kõikidele osapooltele võrdsetel tingimustel bilansituru info kättesaadavust ja muudaks seeläbi kogu süsteemi läbipaistvamaks.

Oluline on ka bilansivastutuse jagunemine, kui täna on siinkohal eelisolukorras taastuenergiatootjad, siis ühisturu laienemise ja taastuenergiatootjate osakaalu suurenedes, peavad kõik turuosalised kandma võrdsetel tingimustel bilansivastutust.

Reguleerimisturu reeglid peavad võimaldama üha kasvavate taastuenergiaallikate lisandumist ja paindliku reguleerimisvõimekuse suurenemist. Reguleerimisturg peab tagama varustuskindluse taseme, tagades maksimaalselt efektiivsed piiriülesed ülekandevõimsused turuosalistele.

Lisaks võib rakendada erinevaid võimsusmehhanismi meetmeid nagu strateegiline reserv. Strateegilise reservi näol on tegemist spetsiaalselt varustuskindluse tagamiseks mõeldud reservi hankimist ja hoidmist ja mis võetakse kasutusele vaid vajadusel, kui turul pakutavad võimsused ei taga tarbimise katmist. [1]

Bilansienergia tagamisel on järjest olulisem roll ka põhi – ja jaotusvõrgu koostööl, mis annab oluliselt parema ülevaate turule sisenevate tarbijate vajadustest ja annab ka signaali investeringuteks elektrivõrkudesse selle töökindluse parandamiseks.

Tänases olukorras, kus Eesti bilansienergia on kaetud kindlate pöörlevate võimsustega ning on elektrienergiat eksportiv riik, siis tuleviku perspektiivi arvestades, kus suuremjagu tootmisvõimsustest baseerub taastuvenergia jaamadel, on Eesti elektrienergiat importiv riik. Eesti peab aegsasti investeerima oma varustuskindluse tagamisse, esmajärjekorras ülepiiriliste põhja – lõuna suunaliste ülekandeliinide töökindluse tõstmisesse, et tagada ülekandevõimsuste piisav ja stabiilne liikumine varustuskindluse tagamiseks.

Regiooni bilansienergia tagamise tasakaalu kõikides piirkondades saab aidata tagada vaid kõikidele turuosalistele kehtestatud ühised nõuded ja reeglid. Ühise tururegulatsiooni puudumisel ei oleks Baltimaadele kindlustatud bilansienergia ega ka varustuskindluse tagamine naaberriikidest, seda eriti ajal, kui Põhjamaades peaks tekkima bilansienergia defitsiit ja kasumlikum oleks seda opereerida Põhjamaade siseselt.

Samas kehtiks regiooni ühisturu situatsioonis samad reeglid ka Eestile ja teistele Balti riikidele, kellede tuleviku tootmispiisavus on negatiivne ja seeläbi on ka kogu elektrisüsteem haavatavam ja sõltuvam ikkagi naaberriikidest.

KOKKUVÕTE

Praegune aeg on Eesti elektrisüsteemi arengut silmas pidades otsustava tähtsusega. Kuna tegemist on energiavaldkonnaga, mis nõuab pikaajalisi ja kaalutletud otsuseid investeeringuteks, millede lõplik mõju avaldub alles tulevikus. Keeruliseks teeb olukorra ka valdkonna kiire tehniline ja majanduslik areng ning EL energia – ja kliimapoliitika muutused, mis eeldavad üha keskkonnasäästvamaid tehnoloogiaid, nii tootmises kui ka tarbimises.

Regiooni kõige suuremate muutuste ootuses on Eesti ja teised Balti riigid. Vajades kindlaid ja kaalutletud otsuseid oma energiajulgeoleku ja varustuskindluse tagamisel. EL kliimapoliitiliste eesmärkide täitmine ja Eesti riigi reaalne suutlikus neid jälgida, on aga üheks suurimaks väljakutseks, seda nii tehniliselt kui ka majanduslikult.

Baltimaade übersünkroniseerimine on peamiselt poliitiline projekt, mille eesmärgiks on EL energiajulgeoleku tagamine, EL liikmesriikide integreerumine ühtseks energiaturuks ja Balti riikide elektrisüsteemide stabiilse töö tagamine, ilma Venemaa poolsete mõjutusteta. Tehniliselt ja majanduslikult on Baltimaade übersünkroniseerimine aga aja – ja kapitalimahukas ning nõuab regiooni liikmesriikide täieliku koostööd.

EL energia – ja kliimapoliitikast lähtuvalt väheneb lähitulevikus järk – järgult Eestis põlevkivil baseeruvate tootmisvõimsuste maht, muutes Eestist 2030. aastaks elektrienergiat importivaks riigiks, nõrgestades seeläbi Eesti energiajulgeolekut. Seega vajab Eesti tulevikus uut energiajulgeoleku tagamise mudelit. Uusi lahendusi energiajulgeoleku tagamiseks tuleb leida ja analüüsida aga ilma, et poliitiline retoorika ja poliitikute vastandumine kliimapoliitikas seda segaks, vaid lähtuks eelkõige ühiskonna huvidest, tagades tarbijale kättesaadava ja soodsa hinnaga elektrienergia.

Balti riikide desünkroniseerimisel suurest ja stabiilsest IPS/UPS sagedusalast, on parimaks lahenduseks Baltimaade sünkroniseerimine teise suure ja stabiilse sagedusala CEN-ga. Eesti elektrisüsteemi übersünkroniseerimisega kaasnevad aga nii tehnilised kui ka majanduslikud riskid. Eesti elektrisüsteemi stabiilne töö on üha rohkem sõltuv

regionaalsetest riikidevahelistest ülekandevõimsustest, avatud elektriturust, tootmisvõimsuste mitmekesisusest ja nende paiknemisest.

Eesti varustuskindluse pikas perspektiivis aitab tagada integreerumine CEN-ga ja tihedam koostöö Põhjamaade elektrituruga, suurendades nii juurdepääsu laiemale turupiirkonnale ja tagades süsteemi efektiivsema toimimise. Aidates tasakaalustada tootmis – tarbimise tasakaalu madalaima ühiskondliku kogukuluga.

Eesti varustuskindluse ja bilansienergia tagamise üheks eelduseks regiooni üleselt on ühisturu reeglite järgimine kõikide turuosaliste poolt võrdsetel alustel ja ühisturu peamiseks ülesandeks peab olema kogu regiooni süsteemi stabiilne töö, mis ei tohi olla mõjutatud majanduslikust kasust tootmisvõimsuste ülekandel naaberriikidesse.

Eesti elektrisüsteemi integreerumisel CEN-ga on Eesti energiajulgeoleku tagamiseks vaja leida alternatiivseid lahendusi, mis ei mõjutaks negatiivselt majandusarengut ja oleks keskkonnasäästlik. Parim viis selleks lähitulevikus on ära kasutada Eesti põlevkivil baseeruvaid tootmisjaamu, kompetentsi ja inimesi selles valdkonnas ja seda hoolimata CO₂ kvootide kallinemisest, kuna teiste alternatiivsete tootmisallikate ehitamine on liialt aeganõudev ja kapitalimahukas ja ületaks CO₂ kvootideks makstava tasu suuruse.

Tehnilistest aspektidest lähtuvalt ei muutu sünkroniseerimisel CEN-ga Balti riikide elektrisüsteemide sagedus, vaid tehniline võimekus süsteemi sageduse stabiilsuse tagamisel, koostöös teiste liikmesriikidega. Ühendatud sagedusala sageduse stabiilsuse tagamise võimekust hakkab mõjutama peamiselt regiooni inertsiga tagamise võimekus ja olemasoleva Leedu – Poola kaheaheelalise vahelduvvoolu ühendusliini töökindlus, millega hakatakse Baltimaade elektrisüsteemide sagedust tagama.

Täna Venemaa poolset ohtu Baltimaade sageduse stabiilsusele ei ole, kuna Baltimaade sageduse stabiilsusega manipuleerimiseks, peaks Venemaa viima tööst välja ka oma elektrisüsteemi, mis kindlasti riskimist ei vääri.

Venemaa poolseteks peamiseks ohtudeks täna on Venemaa eraldumine Baltimaade elektrisüsteemist enne 2025. aastat. Venemaa siseriiklike ülekandeliinide valmimisega, kaob Venemaal vajadus kasutada Eesti põhja – lõuna suunalisi ühendusliine elektrienergia ekspordiks ja transiidiks. Sellest tingituna võib ühe ohuna näha ka Venemaa poolsete ette teatamata katkestuste esinemiseks, mis pole Eesti põhivõrgu haldajaga kooskõlastatud.

Eesti valmisolekut selliseks Venemaa poolseks sammuks ei ole täna aga võimalik kuidagi tagada. Kõik olulisemad investeeringud Balti riikide ümbersünkroniseerimiseks on planeeritud lõpetada 2025. aasta lõpuks. Mistõttu varasem Venemaa eraldumine on suureks riskiks Eesti varustuskindluse tagamisel lähitulevikus.

Samuti puudub tänases olukorras ülevaade, kas ja kuidas Baltimaade elektrisüsteemid desünkroniseerimise järgselt töötavad. Ilma reaalsete eralduskatsetuste läbiviimiseta puudub kindlus Baltimaade elektrisüsteemide stabiilsuse, varustuskindluse ja töökindluse osas.

Venemaa odava elektrienergia sissevool teistesse Balti riikidesse tekitab aga NP avatud turul turumoonutusi, soosides ebavõrdset konkurentsi Eesti CO₂ kvootidega maksustatud põlevkivienergiaga võrreldes, mis omakorda võib tingida Eesti põlevkivielektrijaamade varasema sulgemise, mis vähendab veelgi varustuskindluse taset.

Sünkroniseerimise riskid on kõik vähemal või suuremal määral seotud varustuskindluse tagamise võimekusega. Eesti investeeringud siseriiklikesse ja ülepiirilistesse ühendusliinidesse tagavad küll elektrivõrgu töökindluse ja elektrienergia impordivõimekuse piisavas mahus, et katta Eesti tipukoormused, kuid nõrgestavad üldpildis ja pikemas perspektiivis Eesti energiajulgeolekut ja varustuskindlust.

Läänemere regiooni ühise tasakaaluturg loomise üks eesmärkidest on bilansienergia kättesaadavus kõikides piirkondades võrdsetel alustel, mis eeldab süsteemi sisulisi muutusi kõigilt turuosalistelt. Just ühine vastutus ja reeglid, mida kõik osapooled aktsepteerivad ja täidavad, on lahenduseks, et kõigil turuosalistel oleks kohustus ja vastutus tagada regioonis bilansienergia jaotumine vastavalt piirkondade vajadustele, mitte lähtuma majanduslikust kasust.

Eesti edasine areng energiasektoris peab olema kaalutletud ja arvestama Eesti riigi reaalsete tehniliste ja majanduslike võimalustega jälgida EL energia – ja kliimapoliitikat ja unustamata seejuures meie kõrget kompetentsi põlevkivisektoris ja geograafilist asukohta.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Eesti elektrisüsteemide varustuskindluse aruanne. (2018). Tallinn: Eleringi toimetised. Nr 2/2018. 110 lk. [veebileht] https://elering.ee/sites/default/files/public/Infokeskus/elering_vka_2018_web.pdf (17.03.2019)
2. Euroopa Komisjoni teabeleht. (2018). Pressiteade. [veebileht] http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-4285_en.htm (17.03.2019)
3. **Juss, T.** (1983). Eesti elektrisüsteem. Tallinn: Valgus. 32 lk.
4. Põllumajanduse elektrifitseerimisest radarijaamadeni. Empower EEE AS elulugu. (2007). Tallinn: Empower EEE AS. 109 lk.
5. Elektrituru käsiraamat. (s.a). [veebileht] <https://elering.ee/sites/default/files/elektrituru-kasiraamat.pdf> (17.03.2019)
6. **George, G.** (2002). Powering The Globe. The Energy Times. [veebileht] <https://www.theenergytimes.com/new-utility-business/powering-globe> (31.03.2019)
7. Eesti elektrisüsteemide varustuskindluse aruanne. (2017). Tallinn: Eleringi toimetised. 113 lk. [veebileht] https://elering.ee/sites/default/files/public/Elering_VKA_2017.pdf (17.03.2019)
8. Elering AS uudised. (2019). Balti elektrisüsteemi saartalitluse katse läbiviimine lükatakse edasi. Tallinn, 05.02.2019. [on-line] <https://elering.ee/balti-elektrisusteemi-saartalitluse-katse-labiviimine-lukatakse-edasi> (19.03.2019).
9. **Kilk, K.** (2018). Sünkroniseerimise projekti eesmärgid ja väljakutsed. Desünkroniseerimise ümarlaua presentatsioon. Tallinn, 20. detsember, 2018. [veebileht] <https://elering.ee/sunkroniseerimise-umarlaud> (31.03.2019).
10. Elering AS. (s.a). Elering Live. [veebileht] <https://dashboard.elering.ee/> (31.03.2019).
11. Eesti Energia AS uudised. (2019). Eesti Energia käive kasvas I kvartalis rekordilise 283 miljoni euroni. Tallinn, 30.04.2019. [on-line] <https://www.energia.ee/et/uudised/avaleht/-/news/2019/04/30/eesti-energia-kaive-kasvas-i-kvartalis-rekordilise-283-miljoni-euroni> (06.05.2019)
12. **Abaravicius, J.** (2018). The Fundamental challenges of Energy Security- synchronization and desynchronization. Energia konverents ettekanne. Litgrid, 28.09.2018 [on-line] https://www.norden.ee/images/rohemajandus/Energiakonverents/Energiakonverents_2018/Energiakonverents_ettekanded/Juozas_Abaravicius_pdf.pdf (20.03.2019).
13. **Oidram, R.** (s.a). Balti riikide elektrisüsteemide sünkroniseerimine Euroopa tuumikvõrguga. On see kavandataval kujul otstarbekas? [on-line] <https://www.eees.ee/images/EEES/artiklid/ReinOidramBaltiRiikideSyn.pdf> (20.03.2019).

14. System Operator of the United Power System. (s.a). [on-line] http://www.socdu.ru/index.php?id=ees_freq&no_cache=1 (20.03.2019)
15. Statnett. (s.a). [on-line] <https://www.statnett.no/en/for-stakeholders-in-the-power-industry/data-from-the-power-system/#nordic-power-balance> (20.03.2019)
16. Swissgrid AG. (s.a). [veebileht] <http://www.mainsfrequency.com/> (20.03.2019)
17. **Mondovic, A.** (2018). Baltic synchronization plan. Desünkroniseerimise ümarlaua presentatsioon. Tallinn, 20. detsember, 2018. [veebileht] <https://elering.ee/sunkroniseerimise-umarlaud> (31.03.2019)
18. **Bahşi, H., Bulakh, A., Jermalavičius, T., Petkus, A., Theisen, N., Tuohy, E., Tsarik, Y., Vainio, J.** (2018). The Geopolitics of Power Grids. Political and Security Aspects of Baltic Electricity Synchronization. Tallinn: International Centre for Defence and Security. https://uploads.icds.ee/ICDS_Report_The_Geopolitics_of_Power_Grids_Tuohy_Jermalavicius_Bulakh_March_2018.pdf (17.03.2019)
19. **Purvins, A., Tao H., Shaghayegh Z., Ren J. P., Gianluca F., Marcelo M., Gianluca F., Ettore F. B. and Angelo L'A.** (2017). Integration of the Baltic States into the EU Electricity System: A Technical and Economic Analysis – Final Report (Executive Summary). Luxembourg: Publications Office of the European Union and European Commission's Joint Research Centre. [veebileht] <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8d3b7da2-562e-11e7-a5ca-01aa75ed71a1/language-en> (18.03.2019).
20. Elering AS uudised (2018). Balti riigid ja Poola käivitasid ametlikult liitumise Mandri-Euroopa elektrisüsteemiga. Tallinn, 24.09.2018. [on-line] <https://elering.ee/balti-riigid-ja-poola-kaivitasid-ametlikult-liitumise-mandri-euroopa-elektrisusteemiga> (19.03.2019).
21. **Bompard, E., Zalzar, S., Huang, T., Purvins, A., Masera, M.** (2018). Baltic Power Systems' Integration into the EU Market Coupling under Different Desynchronization Schemes: A Comparative Market Analysis. – *Energies*. 2018,11, 1765. [e-ajakiri] https://www.researchgate.net/publication/326625395_Baltic_Power_Systems'_Integration_into_the_EU_Market_Coupling_under_Different_Desynchronization_Schemes_A_Comparative_Market_Analysis (17.03.2019).
22. Aruane elektri- ja gaasiturust Eestis 2017. (2018). Konkurentsiamet. 86 lk. [veebileht] https://www.konkurentsiamet.ee/public/ETI_aruanded/Euroopa_Komisjonile/13._Elektri-ja_gaasituru_aruane_2017.pdf
23. Tšernobrovkin, O. Sünkroniseerimise projekti mõju elektriturule. Taastuvenergia ümarlaua ettekanne. Tallinn. 08.04.1019.
24. Elering AS uudised (2019). Elering sõlmib Euroopa Komisjoniga 140-miljonilise sünkroniseerimise rahastamisleppe. Tallinn, 19.03.2019. [on-line] <https://elering.ee/elering-solmib-euroopa-komisjoniga-140-miljonilise-sunkroniseerimise-rahastamisleppe> (20.03.2019).

25. Elering AS. (s.a). Investeeringud 2019 – 2028 [on-line] <https://elering.ee/investeeringud-2019-2028> (12.04.2019)
26. AST. (s.a). The importance of the strategically significant Electricity transmission Projects in the process towards synchronization with Europe [on-line] <http://www.ast.lv/en/events/importance-strategically-significant-electricity-transmission-projects-process-towards> (22.05.2019)
27. Litgrid. (s.a). Electricity Transmission Grid Ten-Year Development Plan. [on-line] <http://www.litgrid.eu/index.php/grid-development/-electricity-transmission-grid-ten-year-development-plan/3851> (22.05.2019)
28. ENSTO-E pilot projekt. (s.a). Feasibility Study regarding cooperation between the Nordic and the Baltic Power Systems within the Nordic ENSTO-E pilot Project on Electricity Balancing. [on-line] https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Feasibility_Study_Regarding_Cooperation_between_the_Nordic_and_the_Baltic_Power_Systems_within_the_Nordic_ENTSO-E_Pilot_Project_on_Electricity_Balancing_1.pdf (10.05.2019)
29. The Way forward - Solutions for a changing Nordic power system. (2018). Statnet, Energinet, Svenska Kraftnat, Fingrid. 32 lk. [on-line]: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2018/the-way-forward---solutions-for-a-changing-nordic-power-system.pdf> (28.04.2019)
30. ENTSO-E. (s.a) Võimsuste statistika. (2018). [on-line] <https://www.entsoe.eu/data/power-stats/net-gen-capacity/> (22.05.2019)
31. Elering AS toimetised. (2015). Review of RES perspective in Baltic countries till 2030. [on-line] https://elering.ee/sites/default/files/attachments/Review_of_RES_perspective_in_Baltic_countries_till_2030.pdf (22.05.2019)
32. Wysokienapiecie uudised. (2015). What will Poland's 2030 renewables target look like? 15.09.2015. [on-line] <https://wysokienapiecie.pl/943-what-will-poland-s-2030-renewables-target-look-like/> (22.05.2019)
33. Fingrid. (s.a). Main grid development plan 2017–2027. [on-line] <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/main-grid-development-plan-2017-2027.pdf> (22.05.2019)
34. Elektrituru käsiraamat. (2016). Tallinn: Eleringi toimetised. 8 lk. [veebileht] https://elering.ee/sites/default/files/attachments/elering_elektrituru_kasiraamat_2016_web_1.pdf (12.04.2019)

LIHTLITSENTS

Lihlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta.

Mina, Edi Valgemäe,
sünniaeg 21.03.1984,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Eesti elektrisüsteemi ümbersünkroniseerimise võimalikud riskid,

mille juhendajad on Andres Annuk ja Arvi Hamburg,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu lõppemist kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Andres Annuk (allkirjastatud digitaalselt)
(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev allkirjastamise lehel)
(kuupäev)

Arvi Hamburg (allkirjastatud digitaalselt)
(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev allkirjastamise lehel)
(kuupäev)